א. קופלר

אופטיקה

בעיות ופתרונות באופטיקה וגלים

הוצאת "כתב" נתניה

תודתי הרבה למפמ"ר לפיסיקה מר דוד סלע על הערות לעריכת החומר.



מהדורה ראשונה, 1994

עריכה לשונית: ציון בודאי

הודפס בישראל בדפוס "ראם"

תוכן העניינים

מבוא לתורת האור 2

פרק 1 - גלים 3
בעיות בגלים 7

פרק 2 - תופעות של אור 10
2.1 החזרת האור 10
2.2 שבירת האור 12
בעיות בשבירת האור 16
בעיות בספקטרום 18
2.4 זוית קריטית והחזרה גמורה 19
בעיות בהחזרה גמורה 21
2.5 בליעת האור 23
2.6 קיטוב האור 24
בעיות בקיטוב 27
2.7 עקיפה והתאבכות האור 28
2.8 טבעות ניוטון ופסי פיזו 29
בעיות בטבעות ניוטון 31
2.9 לחץ של אור 32

פרק 3 - רכיבים אופטיים 33
3.1 מראות 33
בעיות במראות 38
3.2 עדשות 44
בעיות בעדשות 51
3.3 מנסרות 59
בעיות במנסרות 61
3.4 מקטבים, פילטרים, דיאפרגמות ומפצלי אור 62
3.5 שריג אופטי 65
בעיות בשריג אופטי 67

פרק 4 - מכשירים אופטיים 69
4.1 זכוכית מגדלת ומשקפיים 69
4.2 מיקרוסקופ 71

4.3 טלסקופ קפלר וגלילי 72
4.4 משקפת ומצלמה 74
בעיות במכשירים אופטיים 75

פרק 5 – פוטומטריה 79
בעיות בפוטומטריה 81

פרק 6 – לייזר וסיבים אופטיים 84
6.1 לייזר 84
6.2 סיבים אופטיים 89

תשובות ופתרונות

פרק 1 – גלים 91

פרק 2 – תופעות של אור 91
2.1 החזרת האור 95
2.2 שבירה ונפיצת האור 95
ספקטרום 97
2.4 החזרה גמורה 100
2.6 קיטוב האור 102
2.8 טבעות ניוטון ופסי פיזו 104

פרק 3 – רכיבים אופטיים 105
3.1 מראות 106
3.2 עדשות 106
3.3 מנסרות 115
3.5 שריג אופטי 134

פרק 4 – מכשירים אופטיים 136
4.1 זכוכית מגדלת ומשקפיים 138
4.2 מיקרוסקופ 138
4.3 טלסקופ קפלר וגלילי 140
4.4 משקפת ומצלמה 142

פרק 5 – פוטומטריה 144
145

ניסויי מעבדה נבחרים באופטיקה ואלקטרו-אופטיקה

ניסוי 1. בדיקה של חוק סנל ומדידת מקדם השבירה של החומר 153
ניסוי 2. בדיקה של נוסחת העדשה הכדורית 154
ניסוי 3. ספקטרומטר שריג 155
ניסוי 4. פוטומטריה 156
ניסוי 5. מראות 157
ניסוי 6. קיטוב 158
ניסוי 7. גלים עומדים במיתר 159
ניסוי 8. תכונות קרן הלייזר 160

נספחים 161

מבוא

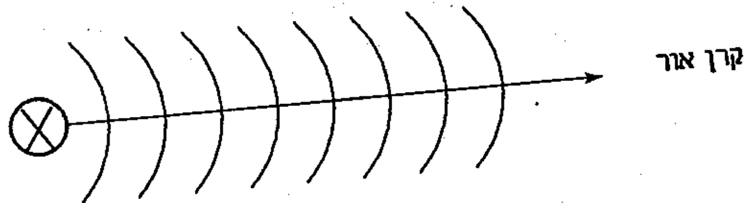
בספר זה מרוכז מספר רב של תרגילים בכל הנושאים הקשורים לאופטיקה וגלים. התרגילים מסווגים לפי נושאים, ולפני כל פרק ישנו תקציר תיאורטי הכולל נוסחאות עיקריות והסבר קצר של תופעות אופטיות, המלווה בשרטוטים וציורים. בנוסף לנושאים, הנלמדים בתוכנית הלימודים, מצורפים לספר שני מאמרים על לייזרים וסיבים אופטיים-הנושאים אשר תופסים מקום חשוב מאד במדע ותעשיה.

כמו כן בספר ישנם מספר ניסויים למעבדה באופטיקה, המבוססים על הנושאים המוסברים.

הספר מיועד למורים ולתלמידים של בתי-ספר התיכוניים, המתכוננים לבחינות בגרות בפיסיקה 5,3 י"ל. הוא מתאים אף לתלמידים, הלומדים במגמת אלקטרו-אופטיקה.

מבוא לתורת האור

האור בנוי מנות אנרגיה. כל מנת אנרגיה נקראת פוטון, והוא מתנהג כמו חלקיק וכמו גל בו זמנית. לכן התפשטות האור היא התפשטות חזית הגל במסלול ישר, הנקרא קרן אור.

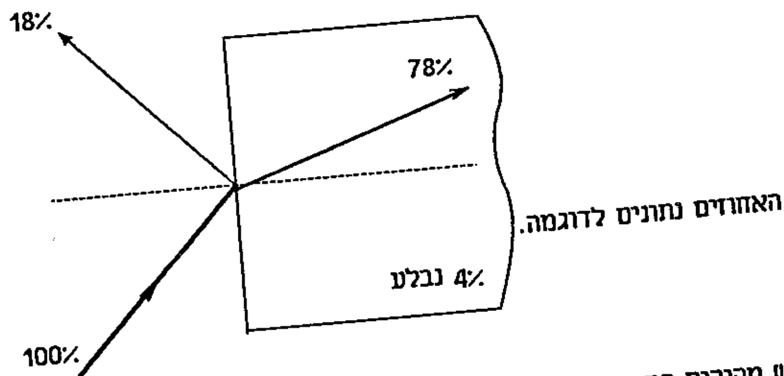


בפגיעתו של האור בחומר כלשהו מתרחשות שלוש תופעות יחד:

א.החזרה,

ב.שבירה (העברה),

ג.בליעה.



לאור יש מהירות התפשטות סופית והיא המהירות המירבית האפשרית בעולם.

$c=3\cdot10^{8}$ מ/שניה

במרחקים קטנים נראה לנו שהתפשטות האור מיידית, אבל במרחקים של חלל ניתן "להרגיש" את זמן ההתפשטות.

לדוגמה, כוכב שנמצא במרחק של 50 שנות אור (מרחק יחסי קטן באסטרונומיה) הוא במרחק, שאור עובר במשך 50 שנה. בזמן זה הכוכב יכול להפסיק להתקיים, אבל אנו רואים אור ממנו, כאילו הוא קיים ברגע זה.

את המרחק הזה ניתן לחשב:

$$s = c \cdot t = 3 \cdot 10^{8} \cdot 50 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 4.7 \cdot 10^{17} m$$

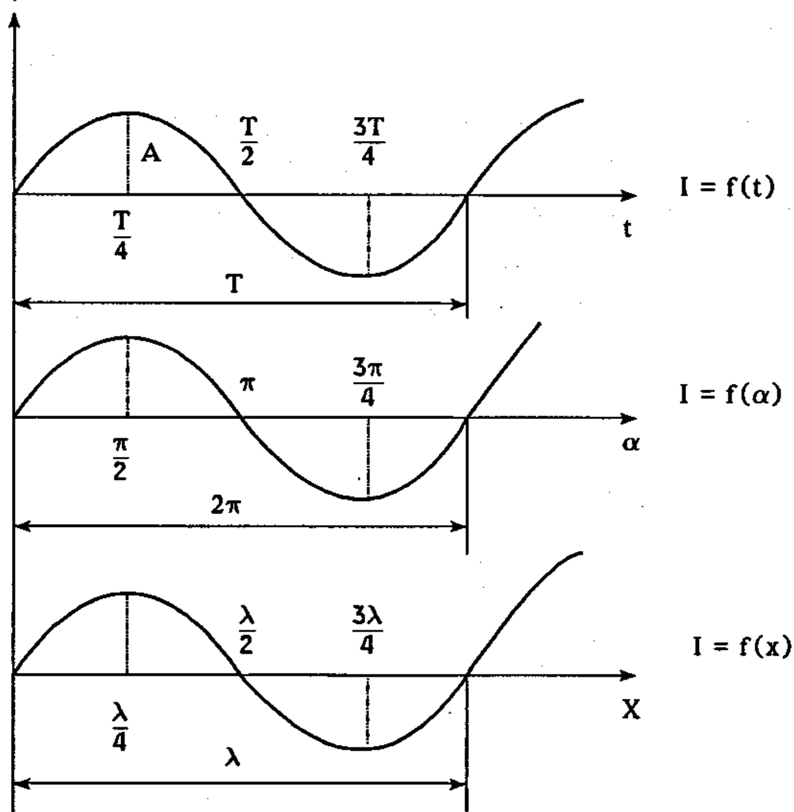
פרק 1

גלים

אנרגיה נמסרת על ידי פוטונים. פוטון הוא גל וגם חלקיק בו זמנית. בכל תהליך ישנו מעבר אנרגיה, לכן חשוב לדעת את חוקי ההתנהגות של הגלים.

איפיונים של גל:

בשלושת הגרפים הבאים מתואר אותו גל.



T - זמן מחזור

זהו זמן מנקודה כלשהי של הגל עד שהגל שוב מתחיל לנוע באותו כיוון ובאותה עוצמה. זמן המחזור מתאים לסיבוב של מעגל שלם, לכן במשך זמן T גל מתקדם בזוית 2π רדיאן או 360°.

λ - אורך גל

זהו מרחק שהגל עובר במשך זמן המחזור T.

f - תדירות

זהו מספר אורכי גל שגל עובר במשך 1 שניה.

A -משרעת (אמפליטודה)

זוהי עוצמת הגל.

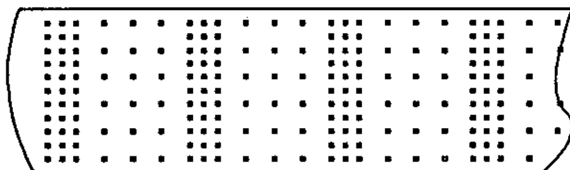
היחסים בין המושגים הנ"ל: $T = \frac{1}{f}$ $\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$

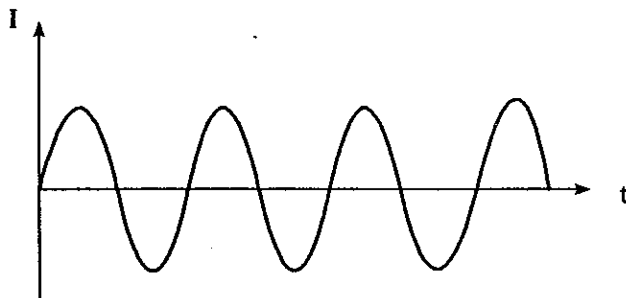
$(x = v \cdot t)$

סוגי הגלים

1. גלים אורכיים

בגלים אורכיים תנודות מתרחשות במקביל לכיוון ההתפשטות. אלה גלי קול, גלים של חוט מחוזק בשני צדדים. גלים אורכיים זקוקים לסביבת ההתפשטות, מכיוון שהם מתפשטים על ידי שינוי צפיפות החומר. מיתרי הגרון דוחפים את האויר ונוצרת צפיפות אויר שונה. האויר הדחוס לוחץ על שכבת אויר שלידו וכך גל קול מתפשט לכל הכיוונים. אטומי החומר מתנודדים במקום ואנרגית התנודות נמסרת לאטומים השכנים.



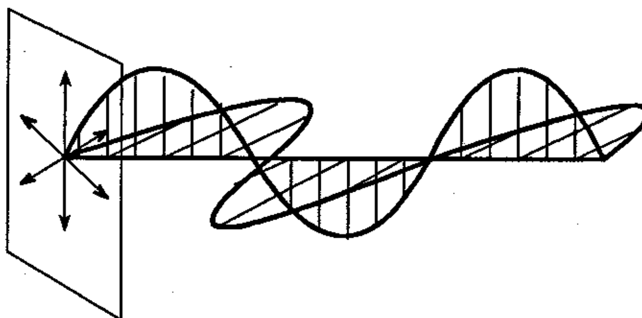


גלים אורכיים אינם מתפשטים בריק, לכן בחלל אי-אפשר לדבר בקול.

2. גלים רוחביים

בגלים רוחביים התנודות מתרחשות במאונך לכיוון ההתפשטות. אלה גלים אלקטרו-מגנטיים, גלי אור, גלי ים, קרני-X. גלים רוחביים יכולים להתפשט בכל סביבה וגם בריק, לכן אור עובר בחלל.

אם נסמן את תנודות הגל על ידי וקטור מישורי, גל יכול להתפשט בכל מישור אפשרי.



שדה אלקטרו-מגנטי מורכב מוקטור חשמלי ומווקטור מגנטי אשר מאונכים זה לזה.
את הגלים הרוחביים ניתן לקטב (ראה:"קיטוב אור") לעומת הגלים האורכיים.

תיאור מתמטי של גלים

גל מתפשט לפי חוק הסינוס, עוצמת הגל היא פונקציה של שני משתנים: זמן t ומרחק x. משוואת הגל: $y = A \cdot \sin(\omega t + kx) = A \cdot \sin\left(2\pi f t + \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

כאשר גל עובר מסביבה אחת לאחרת, אורך גל λ משתנה אבל תדירות f נשארת קבועה. כתוצאה משינוי λ משתנה מהירות הגל v ($v = \lambda \cdot f$) ובהתאם משתנה מקדם שבירה של החומר n ($n = \frac{c}{v}$). כלומר לגבי צבעים שונים (λ שונה) מקדם שבירה n הוא שונה. גלי אור קצרים מאד, ולכן מקובל למדוד אורך גל ביחידות אנגסטרם.

$$1\text{Å} = 10^{-10}\ \text{m}$$

<u>**גלים עומדים**</u>

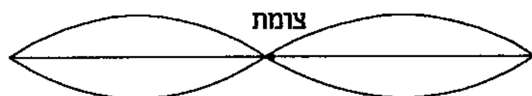
אם גל מוחזר ממיכשול, בדרך חזרה הוא נפגש עם הגל הבא אחריו. בכל החזרה הגל מתהפך ב 180^o. הגל החוזר מתחבר עם הגל הבא והם יכולים לחזק או להרוס זה את זה. תמונה כזו ניתן לראות במיתר המתנודד. תנאי לחיזוק שני הגלים הוא:

$$\boxed{L = n \cdot \frac{\lambda}{2}}$$ – אורך המיתר שווה למספר שלם חצי אורכי גל.

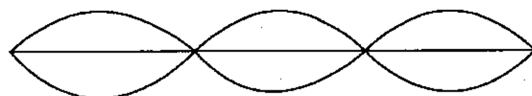
במקרה הזה משרעת הגל תהיה המירבית האפשרית והגלים נראים כמו "עומדים". כל נקודה של המיתר מתנודדת פרט לנקודות צומת.



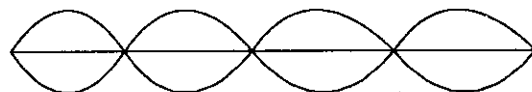
$L = \frac{\lambda}{2} \quad (n = 1)$



$L = \lambda \quad (n = 2)$



$L = \frac{3\lambda}{2} \quad (n = 3)$



$L = 2\lambda \quad (n = 4)$

גל הולך: $y_1 = A \cdot \sin(\omega t + kx)$

גל חוזר: $y_2 = A \cdot \sin(\omega t - kx)$

$$y_T = y_1 + y_2 = A \cdot [\sin(\omega t + kx) + \sin(\omega t - kx)] =$$

$$= 2A \cdot \sin\frac{\omega t + kx + \omega t - kx}{2} \cdot \cos\frac{\omega t + kx - \omega t + kx}{2} =$$

<u>**גל עומד:**</u> $$\boxed{= 2A \cdot \sin 2\pi f t \cdot \cos\frac{2\pi x}{\lambda}}$$

ניתן להוכיח שמהירות התפשטות הגל במיתר תלויה במתיחות T ובצפיפות על יחידת האורך ρ (ק"ג/מ'): $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$

בעיות בגלים

1. גל סינוסואידלי מתקדם באויר. רשום את משוואתו אם משרעת הגל היא 10 מ"מ תדירותו 10 Hz ואורך הגל שלו 5 מ"מ.
2. מהירות הגל במים היא 450 מ/שניה, זמן המחזור 0.1 מילישניות ומשרעתו 2 ס"מ. מהי משוואת הגל ?
3. לפי משוואת הגל $y = 0.8 \cdot \sin\left(120\pi t - \frac{7\pi x}{8}\right)$ השלם נתונים אלה:

   א. אורך הגל.

   ב. תדירות הגל.

   ג. זמן מחזור.

   ד. משרעת.

   ה. מהירות הגל.
4. גל אור בעל אורך גל 6583 Å עובר מסביבה אחת לסביבה אחרת וכתוצאה משתנה אורך גל שלו ל $0.5064\ \mu m$. חשב מהו שינוי בתדירות ובמהירות הגל.
5. מהירות הקול באויר היא 330 מ/שניה. חשב את אורך הגל של הקול אם תדירותו 50 Hz.
6. גל מתקדם במים ומשוואתו היא $y = 1.3 \cdot \sin(6283x - 1571t)$. חשב את:

   א. משרעת הגל.

   ב. אורך הגל.

   ג. זמן המחזור של הגל.
7. משרעת מירבית של הגל היא 2.4 ס"מ, אורך הגל הוא 5 מ"מ ותדירותו 100 Hz חשב את משרעת הגל כאשר הוא עבר 150 מ' אחרי 3 שניות. ידוע שבזמן $t = 0$ במקום $x = 0$ גל התחיל את תנועתו.
8. בזמן $t = 0$ במקום $x = 0$ משרעת הגל היא מירבית 0.8 מ'. אורך הגל הוא 0.45 ס"מ וזמן המחזור הוא $52\ \mu sec$ מה תהיה משרעת הגל אחרי 2.28 שניות אם הוא נמצא ב 2.5 מ' מהתחלת התנועה ?
9. גל מתקדם בעל תדירות 500 Hz מגיע למשרעת השיא 1 מ'. מהו אורך הגל אם אחרי 8 שניות הגל מגיע ל $x = 70$ ס"מ ומשרעתו 55.8 ס"מ. כאשר $t = 0$ ו $x = 0$ משרעת הגל $A = 0$, מופע התחלתי π רדיאן ?
10. גל מתחיל להתנודד בזמן $t = 0$ ובמקום $x = 0$ במופע התחלתי 180°. משרעת מירבית של הגל היא 3 ס"מ, אורך הגל הוא 850 מ"מ. אחרי 32 מילישניות

ב2.8 מ' = x משרעתו מגיעה ל 2 ס"מ. מהו זמן המחזור של הגל ?

11. גל מתקדם $y = 2 \sin (287 t - 1.4 x)$. איזה גל יש לחבר לגל המתקדם כדי שייוצרו גלים עומדים ? רשום את משוואת הגל העומד הזה.

12. נפגשים שני גלים בעלי משוואות אלה: $y_1 = 0.15 \sin (5.5 x - 230 t)$

$y_2 = 0.15 \sin (5.5 x - 230 t)$

כתוצאה ממפגש הגלים נוצר גל חדש. חשב את:

א. משוואת הגל החדש.

ב. אורך הגל שלו.

ג. מהירות התפשטות הגל.

ד. תדירותו.

13. אדם מקרב אוזן לפסי הרכבת ושומע צליל הרכבת ב 3 שניות לפני שהוא שומע צליל באויר. מהי מהירות הקול בפלדה אם מהירות הקול באויר היא 330 מ/שניה והרכבת נמצאת במרחק 1068 מ' מהאדם.

14. חשב מהירות הקול במים אם תנודות בעלות זמן מחזור 5 מילישניות גורמות לאורך גל 7.175 מ'.

15. חשב תדירות של גלי הקול בפלדה אם המרחק בין שתי נקודות הגל, שהמופע ביניהן הוא 90°, הוא 1.54 מ'. מהירות הקול בפלדה היא 5000 מ/שניה.

16. חשב הפרש מופע בין שתי נקודות הגל, הנמצאות במרחק 25 ס"מ, אם תדירותו 680 Hz ומהירות הגל היא 340 מ/שניה.

17. מרחק בין שני צמתים של גל עומד, הנוצר במיתר, הוא 40 ס"מ. מהירות הגל היא 340 מ/שניה. מהי תדירותו ?

18. פי כמה משתנה אורך גל של קול כאשר הוא עובר מאויר למים ? מהירות הקול באויר 340 מ/שניה, במים – 1480 מ/שניה.

19. מהירות הקול במים 1450 מ/שניה. באיזה מרחק נמצאות שתי נקודות של הגל אם הפרש המופע ביניהן π רדיאן ותדירות הגל היא 725 Hz ?

20. מותחים מיתר על ידי משקולת 0.5 ק"ג. צפיפות המיתר על יחידת האורך היא $25 \cdot 10^{-6}$ ק"ג/מ'. שני קצותיו של מיתר קבועים במרחק 1.48 מ' והמיתר מתנודד בתדירות 604 Hz. האם ייווצרו גלים עומדים בתנאים הנ"ל ?

21. משנים את אורך המיתר בבעיה הקודמת ל 37 ס"מ. האם במקרה הזה ייווצרו גלים עומדים ?

22. שני קצותיו של המיתר קבועים במרחק 55 ס"מ. צפיפות המיתר על יחידת האורך

היא $3 \cdot 10^{-5}$ ק"ג/מ'. תדירות של תנודותיו היא 50 Hz. איזו משקולת מירבית יש לקשור למיתר כדי ליצור גלים עומדים ?

23. מיתר, בעל צפיפות על יחידת האורך 0.00006 ק"ג/מ', נמתח על ידי כוחות שונים ליצירת תמונות של חצי גל, גל שלם, גל וחצי ושני גלים. תדירות תנודות המיתר היא 100 Hz ואורך המיתר הוא 60 ס"מ. מהם כוחות המתיחות ?

24. מיתר, בעל צפיפות על יחידת אורך 0.00002 ק"ג/מ', נמתח על ידי כוח 2 קג"כ. מהי מהירות הגל הנוצר במיתר ?

25. שני קצותיו של המיתר קבועים במרחק 1 מ' זה מזה. מנדנדים את המיתר בתדירות 50 Hz ונוצר גל עומד כאשר יש ארבע נקודות צומת חוץ מקצוות. חשב את צפיפות המיתר על יחידת האורך אם מתיחותו 8 ג"כ.

26. מותחים את המיתר עם כוח 0.01 ק"גכ. וכך נוצר גל עומד בעל אורך גל 45 ס"מ. צפיפות המיתר על יחידת אורך היא $3 \cdot 10^{-5}$ ק"ג/מ'. מהי תדירות הגל ?

27. במיתר מסוים יוצרים גלים עומדים בעלי אורך גל λ_1. מחליפים מיתר זה לאחר בעל צפיפות על יחידת אורך גדולה פי 2. מפעילים אותו כוח מתיחות, אותה תדירות ומשאירים אותו אורך המיתר. האם ישתנה אורך גל של גל עומד ? אם כן, פי כמה ? אם לא, מדוע ?

28. איך ניתן לשנות מהירות הגל העומד במיתר, אם אורכו נשאר קבוע ?

29. מנדנדים מיתר, המתוח על ידי כוח F, בעל אורך l בתדירות f. משנים תדירות לאחרת, קטנה פי 2. האם תשתנה מהירות הגל ? אם כן, פי כמה ? אם לא, מדוע ?

30. בהרצאתו סיפר לורד קלוין: "המצאה אחת התגלתה על ידי סוס, אשר כל יום סחב סירה בתעלה בין גלזגו ואנדרוסן. פעם אחת נבהל סוס והתחיל לרוץ, כאשר הגיע למהירות מסוימת, הוא הרגיש שכעת קל יותר לסחוב את הסירה ואחריה לא נשארו עקבות גליים." הסבר את התופעה.

31. מהירות גל הפיתול בצמיג של מכונית היא 160÷200 ק"מ/שעה. מה יקרה לצמיג אם מכונית תסע במהירות הזאת ?

פרק 2

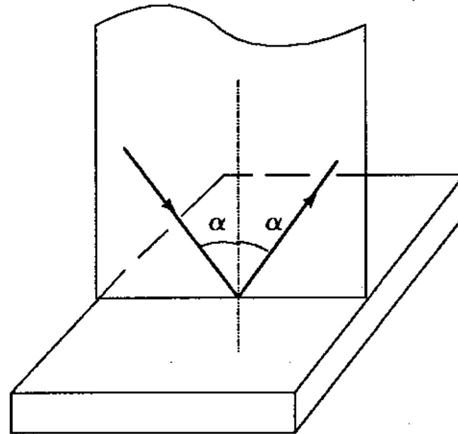
תופעות של אור

2.1 החזרת האור

כאשר אור פוגע בגבול בין שתי סביבות, חלק ממנו מוחזר. ההחזרה מתקיימת לפי שני חוקי ההחזרה:

א. הקרן הפוגעת, הקרן המוחזרת ואנך למקום הפגיעה נמצאים באותו מישור.

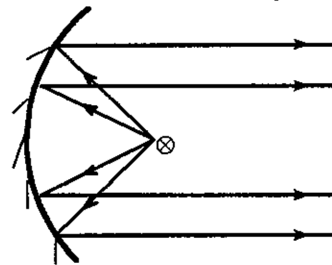
ב. זוית הפגיעה וזוית ההחזרה הן שוות. (זוית הפגיעה-זוהי זוית בין הקרן הפוגעת ובין האנך למקום הפגיעה; זוית ההחזרה - זוהי זוית בין הקרן המוחזרת ובין האנך).



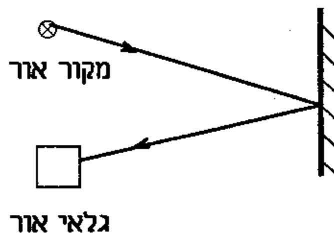
השימוש

שימושים אפשריים בתופעת ההחזרה:

1. זרקור



2. מדידת מרחקים גדולים



$s = v \cdot \frac{t}{2}$ t- זמן של הקרן הלוך וחזור

בעיות בהחזרת האור

32. קרן אור פוגעת ב 30° במראה מישורית. בכמה יש לשנות את זוית הפגיעה, כדי שהזוית בין הקרן הפוגעת ובין הקרן המוחזרת תגדל ב 10° ?

33. אם מזיזים את המראה בזוית β והקרן הפוגעת נשארת במצב התחלתי, בכמה תשתנה זוית ההחזרה ? הוכח בעזרת הנדסה.

34. קרן השמש פוגעת בשולחן בזוית 36°. באיזו זוית לגבי השולחן יש לשים מראה מישורית, כדי לשנות את מסלול הקרן המוחזרת למסלול אנכי ?

35. שתי מראות מישוריות נמצאות בזוית $\alpha < 90^{\circ}$ זו לזו. קרן אור פוגעת באחת המראות בזוית i. מהי הזוית בין הקרן הפוגעת לבין הקרן המוחזרת אחרי שתי החזרות ? האם היא תלויה בזוית הפגיעה i ?

36. מקל באורך 80 ס"מ נמצא במצב מאונך ליד פנס רחוב. אורך הצל שלו 60 ס"מ. כאשר מקרבים את המקל לפנס ב 40 ס"מ, אורך הצל החדש הוא 20 ס"מ. מהו גובהו של הפנס ?

37. שתי מראות נמצאות בזוית 30° זו לזו. קרן אור פוגעת במראה אחת במקביל למראה השניה. באיזו זוית היא תצא אחרי כל ההחזרות ?

38. קרן אור מפנס על הקיר פוגעת במראה בזוית כלשהי. בגלל התנודות המראה מסתובבת ב 20° ממצבה ההתחלתי. זוית ההחזרה במצב החדש היא 62°. מהי זוית הפגיעה של הקרן לפני סיבוב המראה ?

39. שתי מראות מאונכות זו לזו. קרן אור פוגעת באחת המראות בזוית מסוימת. הוכח שהקרן, המוחזרת משתי המראות, יוצאת מקבילה לקרן הפוגעת לגבי כל זויות הפגיעה.

40. על שולחן מונח מטבע ועליו נופל אור בזוית 40°. באיזו זוית לגבי אופק יש לשים מראה מישורית, כדי לכוון את הקרן, המוחזרת מהמטבע, במסלול אופקי?

2.2 שבירת האור

כאשר אור פוגע בגבול בין שתי סביבות, חלק ממנו עובר לסביבה השניה. מכיוון שצפיפות אופטית של כל סביבה היא שונה, מהירות האור בכל סביבה גם משתנה. ככל שצפיפות גדולה יותר מהירות האור קטנה יותר.

<u>מקדם השבירה</u> – n מתאר פי כמה אור מאט בסביבה מסוימת לעומת ריק. (ריק– חלל ריק מאויר, ואקום)

$$n = \frac{c}{v}$$

כאשר c – מהירות האור בריק ($3\cdot10^8$ מ/שניה = c)

v – מהירות האור בסביבה מסוימת

כתוצאה משינוי המהירות, מסלול הקרן בתוך סביבה חדשה גם משתנה, הקרן נשברת. ככל שמקדם השבירה של הסביבה גדול יותר, השבירה תהיה חזקה יותר.

להלן דוגמאות של מקדמי השבירה בסביבות שונות :

יהלום	קוורץ	זכוכית פלינט	זכוכית קרון	סוכר במים	אלכוהול	מים	אויר
2.4	1.458	1.65	1.517	1.348	1.361	1.33	1

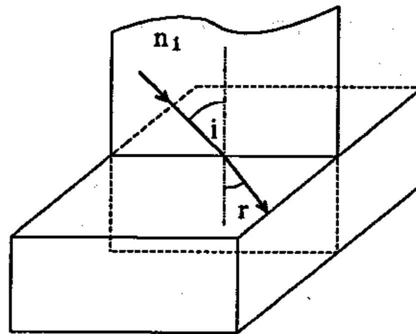
<u>חוקי השבירה:</u>

1. קרן פוגעת, קרן נשברת ואנך למקום הפגיעה נמצאים באותו מישור.
2. <u>חוק סנל (Snell):</u> כפל של מקדם השבירה של סביבה ראשונה על סינוס של זוית הפגיעה שווה לכפל של מקדם השבירה של סביבה שניה על סינוס של זוית השבירה.

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$$

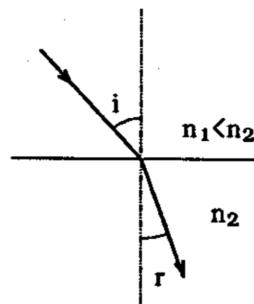
incident– i – זוית הפגיעה

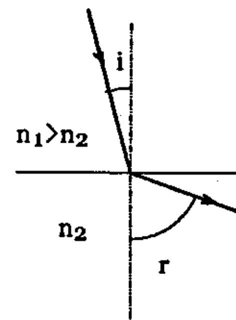
refracted – r – זוית השבירה



אם $n_1 < n_2$ אז $r < i$

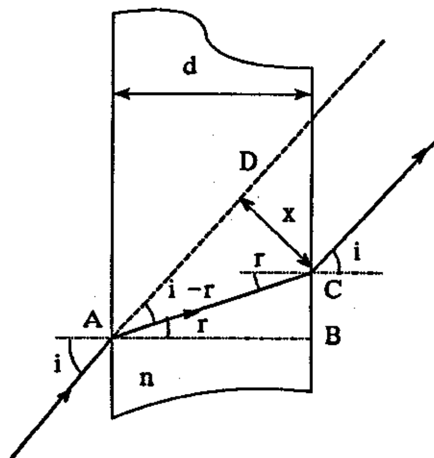
אם $n_1 > n_2$ אז $r > i$





לוחית עם דפנות מקבילות

כאשר קרן אור עוברת דרך לוחית עם דפנות מקבילות, היא נשברת פעמיים ויוצאת במקביל למסלולה המקורי עם הסטה מסוימת x, אשר תלויה בעובי הלוחית ובזוית הפגיעה של הקרן i.



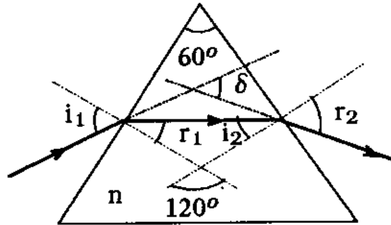
ב $\triangle ABC$: $AB = d,\quad AC = \frac{d}{\cos r}$

ב $\triangle ACD$: $CD = x = AC \cdot \sin(i - r)$

הסטה x: $x = \frac{d \cdot \sin(i - r)}{\cos r}$

מנסרה

במכשירים אופטיים משתמשים בסוגים שונים של מנסרות. נפוצה מאד מנסרה 60^o, תפקידה להטות קרניים מהמסלול המקורי או לפצל אותן לצבעים (ראה:"נפיצת האור").



$\sphericalangle\delta$ – סטיית הקרן מהמסלול המקורי

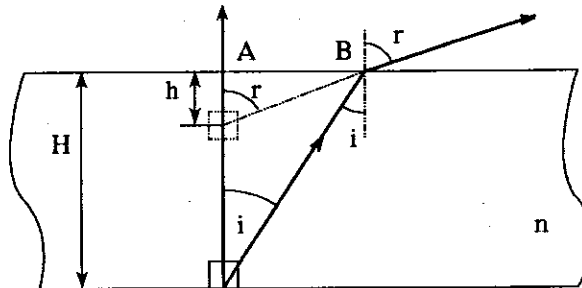
זוית חיצונית – $\delta = (i_1 - r_1) + (r_2 - i_2)$

אם נגדיל בהדרגה את זוית הפגיעה i_1, תגדל זוית היציאה r_2, אבל עד למצב מסוים הנקרא מצב של סטיה מינימלית.
אם נמשיך להגדיל i_1 הלאה, זוית r_2 תקטן. במצב של סטיה מינימלית מתקיים:

$$n = \frac{\sin\frac{A+\delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

A – זוית הראש של המנסרה
δ – זוית הסטיה המינימלית
n–מקדם השבירה של המנסרה

חישוב של עומק מדומה



H – עומק אמיתי h – עומק מדומה

$$AB = H \cdot \tan i \qquad h = \frac{AB}{\tan r} = \frac{H \cdot \tan i}{\tan r}$$

2.3 נפיצת האור, ספקטרום

אור הוא קרינה אלקטרו-מגנטית. בסקלה של אורכי-גל, אור נראה תופס מקום קטן מאד: מ $0.4\ \mu m$ עד $0.8\ \mu m$. כל אורך גל בתחום זה מתאים לצבע שונה. אור בעל צבע אחד נקרא מונוכרומטי (מונו- אחד, כרומוס - צבע ביוונית).

אור לבן זהו אוסף של כל הצבעים, אור שחור (חושך) זהו אפס צבעים. זה מסביר תופעה אשר בראשונה גילה ניוטון: כאשר אור לבן עובר דרך מנסרה ונשבר בה פעמיים, הוא מתפצל לצבעים - רכיבים שלו. מקדם שבירה לפי הגדרתו $(n = \frac{c}{v})$ תלוי במהירות v, ומהירות האור בסביבה תלויה באורך גל $(v = \lambda \cdot f)$. תדירות הקרינה f אינה משתנה במעבר לסביבה אחרת, אבל אורך גל משתנה וגורם לשינוי המהירות.

מהנוסחאות הנ"ל רואים שמקדם שבירה באותה סביבה שונה לגבי צבעים שונים, וזה גורם להתפצלות האור הלבן למרכיביו.

n	1.546	1.533	1.52	1.517	1.514
λ(Å)	3610	4340	5890	6560	7680

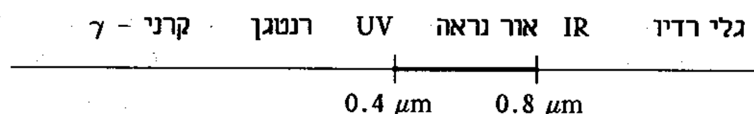
$n = f(\lambda)$ לגבי זכוכית

סדר הצבעים בספקטרום קבוע, כי הוא תלוי באורכי הגל של הצבעים.

סדר הצבעים: אדום, כתום, צהוב, ירוק, תכלת, כחול, סגול.

אורך גל של אור אדום - $\lambda = 7500$ Å ושל אור סגול - $\lambda = 4500$ Å.

ספקטרוסקופיה וספקטרוגרפיה מתבססות על עיקרון הספקטרום.



שימוש בספקטרוסקופיה:

קביעת הרכב כימי של חומרים שונים.

לדוגמה, מפצלים אור המגיע מכוכב רחוק ולפי הספקטרום הנוצר קובעים אילו חומרים נמצאים בכוכב הזה. כך נתגלו על השמש רוב החומרים היסודיים שקיימים בכדור הארץ. יחד עם זה מצאו גז חדש שקראו לו "הליום" על שם "הליוס" - שמש. רק לאחר מכן מצאו אותו גז בכדור הארץ.

בעיות בשבירת האור

41. זוית הפגיעה היא 32^{o} כאשר קרן אור עוברת מאויר למים (n של מים 1.3). מהי זוית השבירה של הקרן ?

42. קרן אור עוברת מזכוכית ($n = 1.5$) ליהלום ($n = 2.4$) וזוית השבירה – 27^{o}. מהי זוית הפגיעה ?

43. קרן אור נכנסת לכוס מים דרך הדופן הצדדית. כאשר היא יוצאת מהזכוכית ($n=1.5$) למים ($n = 1.3$) זוית הפגיעה היא 20^{o}. מהי זוית השבירה ?

44. יהלום נמצא בתוך מים. כאשר קרן אור יוצאת ממנו למים היא נשברת בזוית 75^{o}. מהי זוית הפגיעה ?

45. אור פוגע בגבול בין אויר ובין חומר בעל מקדם שבירה n. באיזו זוית הפגיעה יתקיים תנאי שהקרן המוחזרת והקרן הנשברת תהינה מאונכות זו לזו ?

46. קרן אור פוגעת במנסרה משולשת בעלת זוית הראש 40^{o}. זוית הפגיעה 28^{o}. מקדם שבירה של המנסרה הוא 1.5 .
   א. באיזו זוית קרן תצא מהמנסרה ?
   ב. מהי זוית הסטיה מהמסלול המקורי ?

47. מנסרה עשויה חומר בעל מקדם שבירה 1.48 . קרן אור נכנסת דרך הדופן הצדדית ואחרי שתי שבירות יוצאת מהדופן השניה בזוית 55^{o}. זוית הראש של המנסרה היא 60^{o}.
   א. מהי זוית הפגיעה במנסרה ?
   ב. מהי זוית הסטיה של הקרן מהמסלול המקורי ?

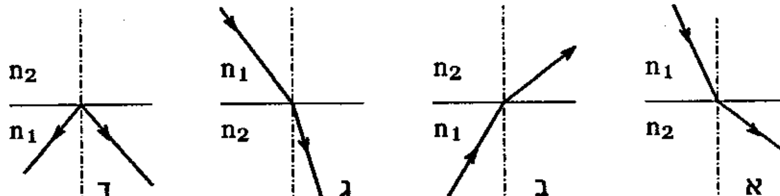
48. קרן אור פוגעת בלוחית עם דפנות מקבילות בזוית 60^{o}. עובי הלוחית 5 ס"מ ומקדם השבירה 1.5. חשב סטית הקרן ביציאתה מהלוחית.

49. זוית הפגיעה בלוחית עם דפנות מקבילות היא 40^{o}. מקדם השבירה של החומר, ממנו עשויה הלוחית, הוא 1.45. מהו עובי הלוחית אם סטיית הקרן 8 מ"מ ?

50. רוני מסתכל באגם בזוית 40^{o}. בעומק 1.5 מ' הוא רואה דג. באיזה עומק נמצא הדג למעשה ?

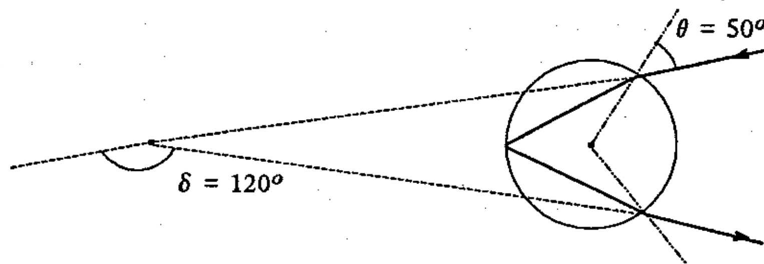
51. מטבע נמצא בתחתית של כוס גבוהה, מלאה עם נוזל בעל מקדם שבירה 1.26. גובה הנוזל בכוס 40 ס"מ. אדם מסתכל על המטבע בזוית 60^{o}. באיזה עומק הוא רואה את המטבע ?

52. בציורים הבאים קרן אור פוגעת בגבול בין שתי סביבות כך ש $n_1 < n_2$. באיזה ציור מהלך הקרן הוא נכון ?



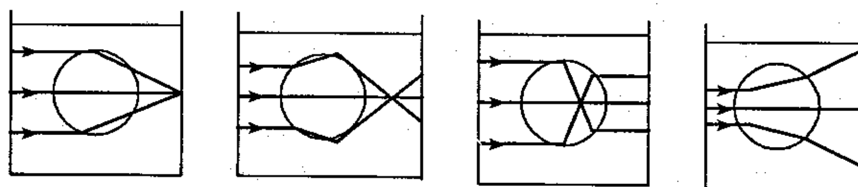
53. במעבר של קרן אור מזכוכית למים (n = 1.3) סוטה הקרן מכיוונה המקורי ב-8°. זוית הפגיעה היא 32°.
א. מהי זוית השבירה בנוזל ?
ב. חשב את מקדם השבירה של הזכוכית במקרה זה ?

54.* קרן אור פוגעת בטיפת נוזל בזוית $\theta = 50°$, נשברת, מוחזרת בתוך הטיפה ויוצאת אחרי שבירה שניה. זוית בין הקרן הפוגעת ובין הקרן היוצאת היא 120°. חשב מקדם השבירה של הטיפה.



55. למנסרה, עשויה יהלום, בעלת מקדם שבירה 2.4, יש צורה משולשת וזוית הראש היא 22°. קרן אור פוגעת במאונך בדופן המנסרה, מגיעה לדופן השניה, נשברת ויוצאת החוצה. חשב את הזוית בין הקרן הפוגעת ובין הקרן היוצאת.

56. בתוך מים נמצאת בועת אויר ודרכה עוברות קרני אור. איזה תרשים מתאר את מהלך הקרניים בצורה נכונה ?



א　　　ב　　　ג　　　ד

57.* לוח עבה מזכוכית שמקדם השבירה שלו 1.5 מצופה בשכבה דקה של חומר שקוף בעל מקדם שבירה 2.5. אור בעל אורך גל 6000 Å באויר פוגע במאונך בשכבה זו. חשב תדירות ואורך גל של האור הנ"ל בעוברו בתוך: א. שכבת ציפוי.
ב. לוח הזכוכית.

58. בקרקעית האגם נמצאת מראה מישורית. עומק האגם הוא 1.2 מ'. קרן אור פוגעת בפני המים בזוית 30°. באיזה מרחק ממקום הפגיעה הקרן תצא חזרה אם מקדם השבירה של המים 1.3 ?

59.* על לוחית עם דפנות מקבילות שמים ציפוי להחזרה בצד אחד. עובי הלוחית 5 ס"מ. קרן פוגעת בלוחית בזוית 30°, נשברת, מוחזרת מהציפוי ויוצאת חזרה. מרחק בין נקודת כניסת הקרן ונקודת יציאתה הוא 2.5 ס"מ. מהו מקדם השבירה של הלוחית ?

60.* שתי לוחיות עם דפנות מקבילות מודבקות יחד. מקדמי השבירה שלהן בהתאם:

$n_1 = 1.4$, $n_2 = 1.7$. שתי קרניים פוגעות בלוחית ראשונה: אחת במאונך ושניה בזוית 45^o כך שנקודות הפגיעה שלהן משותפות. העובי של הלוחית הראשונה 4 ס"מ ושל השניה – 7 ס"מ.

א. מהי זוית היציאה של כל אחת מהקרניים אחרי הלוחית השניה ?

ב. מהו המרחק בין נקודות היציאה של שתי הקרניים ?

61. כדי למצוא את מקדם שבירה של חומר מנסרה בעלת זוית ראש 60^o, מדדו זוית של סטיה מינימלית והיא 51^o. מהו מקדם השבירה של המנסרה ?

62. בטאודוליט (מכשיר אופטי) משתמשים במנסרה בעלת מקדם שבירה 1.44 וזוית סטיה מינימלית 22^o. מהי זוית הראש של אותה המנסרה ?

בעיות בספקטרום

63. מקדמי שבירה של אור אדום ואור סגול לחומר המנסרה הם: $n_א = 1.4248$, $n_ס = 1.4467$. המנסרה שוות צלעות, אורך כל צלע 10 ס"מ. אור לבן פוגע במרכז הצלע בזוית 50^o. חשב אורך הספקטרום בצלע השניה.

64. לוח זכוכית מונח על סרט פוטו. מקרינים עליו אור אדום דרך סדק צר וכתוצאה מתקבלת נקודה על סרט פוטו. מחליפים מקור אור אדום לירוק ומקרינים על אותה נקודה באותה זוית. לאחר מכן מחליפים מקור אור לאור צהוב. ציין סדר הנקודות הצבעוניות על סרט פוטו. נמק.

65. מקדם שבירה של אור אדום בזכוכית הוא $n_א = 1.51$ ומקדם שבירה של אור סגול $n_ס = 1.53$. חשב בכמה גדולה מהירות האור האדום מהסגול.

66. אורך גל של קרניים צהובות בריק הוא 590 ננומטר ובמים 442 ננומטר. מהו מקדם השבירה של אור צהוב במים ?

67. על נייר לבן רשום באותיות אדומות "מצויין" ובאותיות ירוקות "טוב". ישנם שני פילטרים אדום וירוק. באיזה פילטר יש להשתמש, כדי לקרוא "מצויין" ואיזה פילטר מתאים למלה השניה ?

2.4 זוית קריטית והחזרה גמורה

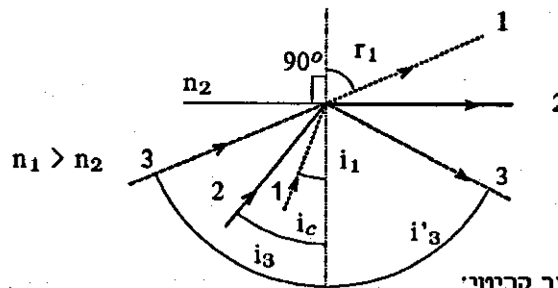
נקדים לנושא זה פרט מאלף: מכשירים רבים בנויים על עיקרון של החזרה גמורה.
במעבר האור מסביבה צפופה יותר לצפופה פחות זוית השבירה תמיד גדולה מזוית הפגיעה $i < r$. אם נגדיל את זוית הפגיעה, נגיע למצב, שזוית השבירה שווה ל 90^o, ז"א קרן נשברת במקביל לגבול בין שתי הסביבות. זהו מצב גבולי בין שבירה והחזרה. במצב זה זוית הפגיעה נקראת זוית קריטית.

<u>זוית קריטית</u> – זוהי זוית הפגיעה, כאשר זוית השבירה היא 90^o.

אם נמשיך להגדיל את זוית הפגיעה, הקרן לא תישבר ולא תצא לסביבה השניה אלא תחזור לפי חוקי ההחזרה. התופעה נקראת <u>החזרה גמורה,</u> כי האור מוחזר בשלמותו, בלי איבוד אנרגיה.

<u>שני תנאים להחזרה גמורה:</u>

1. אור צריך לעבור מסביבה צפופה יותר לסביבה צפופה פחות <u>ולא להפך !!!</u>
2. זוית הפגיעה צריכה להיות גדולה מהזוית הקריטית.



לפי חוק סנל ניתן לרשום למצב קריטי:

$$\frac{\sin i_c}{\sin 90^o} = \frac{n_2}{n_1}$$ $$\boxed{\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}}$$ כאשר $n_2 = 1$ - אויר, $$\boxed{\sin i_c = \frac{1}{n}}$$

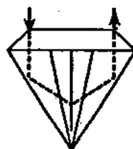
זוית קריטית משתנה אפוא בהתאם לסביבה, היא תלויה במקדם השבירה של הסביבה.

<u>שימוש בהחזרה גמורה</u>

1. יהלומים

מקדם השבירה של יהלום הוא גדול מאד, לכן הזוית הקריטית שלו קטנה מאד.

$$\sin i_c = \frac{1}{2.4} \quad i_c = 24.6^o$$

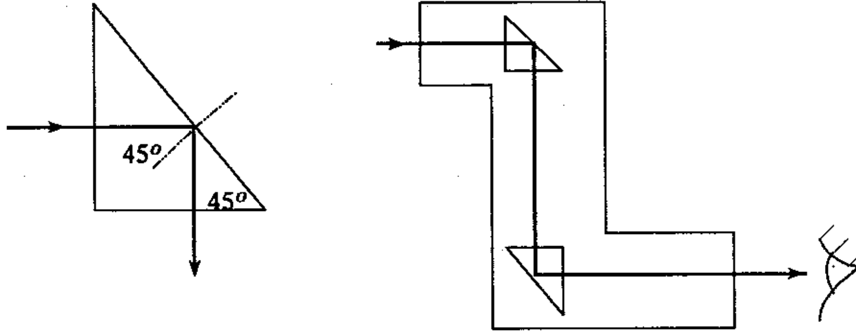


הקרניים הפוגעות בדפנות היהלום מבפנים בזוית גדולה מ 24.6^o, יוחזרו בלי לצאת החוצה.

את דפנות היהלום מלטשים בזויות מוגדרות באופן מדויק מאד, לכן רוב הקרניים הנכנסות חוזרות לכיוון העין והתוצאה היא ברק מירבי. במידה שהקרניים לא מוחזרות לעין, הברק קטן יותר.

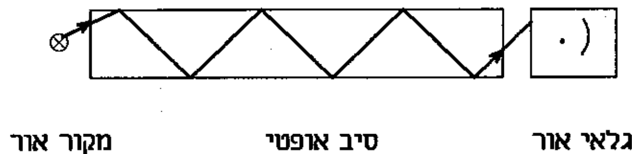
2. מנסרות

ניתן לחשב זוית קריטית של זכוכית. אם $n = 1.5$, $i_c = 42^o$.
בציור שלפנינו קרן פוגעת בבסיס המנסרה ב 45^o, ז"א מעל לזוית קריטית, ולכן מתרחשת החזרה גמורה. זה נותן אפשרות להפנות את אלומת הקרניים ב-90^o ממסלול המקורי. אחד השימושים במנסרה הוא בפריסקופ. מכשיר זה מאפשר לצפות בעצמים, הנמצאים במקום גבוה יותר מהצופה, לדוגמה, בצוללת.



3. סיבים אופטיים

סיבים אופטיים הם חוטים עשוים זכוכית, גמישים, בעלי קוטר קטן מאד ($50\mu m \div 100$). קרן אור, הנכנסת לתוך הסיב, מוחזרת הרבה פעמים מדפנות הסיב ויוצאת בקצהו השני. הודות להחזרה גמורה אין הקרן חורגת לצדדים ואיבוד האנרגיה קטן מאד לעומת חוטי חשמל. התכונות הנפלאות של סיבים אופטיים מקנות להם מקום רב יותר ויותר בתקשורת טלפונים ועוד. פירוט בפרק "סיבים אופטיים".



גלאי אור סיב אופטי מקור אור

בעיות בהחזרה גמורה

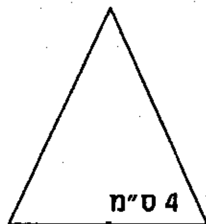
68. חשב זוית קריטית של חומרים שונים:

א. מים - $n = 1.3$

ב. זכוכית - $n = 1.5$

ג. קוורץ - $n = 1.54$

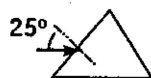
ד. יהלום - $n = 2.4$



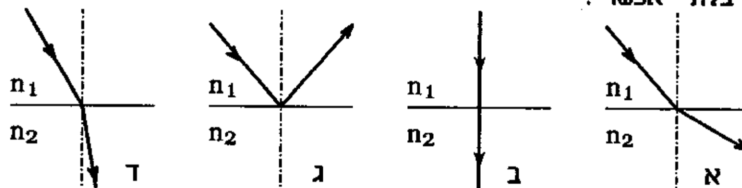
69. על דף נייר מצוירת נקודה ועליה מניחים מנסרה משולשת, בעלת זוית ראש 60^o, כך שהנקודה נמצאת מתחת לבסיס. צלע של מנסרה שווה 8 ס"מ. באיזה מרחק מראש המנסרה ניתן עדיין לראות את הנקודה ? מקדם השבירה של המנסרה הוא 1.5.

70. בשעת ניסור היהלום נוצר שביב בצורת מנסרה משולשת. מה צריכה להיות זוית הראש של המנסרה כדי שקרן, הפוגעת במאונך בדופן היהלום, לא תצא בדופן השניה ? מקדם שבירה של היהלום הוא 2.4.

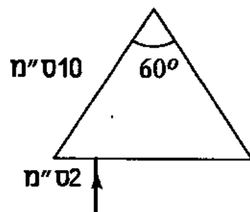
71. אלומת קרניים צרה פוגעת בדופן של מנסרה משולשת, שזוית הראש שלה 60^o. זוית הפגיעה היא 25^o. צייר את מהלך הקרניים במנסרה וחשב מאיזו דופן ובאיזו זוית תצא האלומה מהמנסרה, אם מקדם השבירה הוא 1.5.



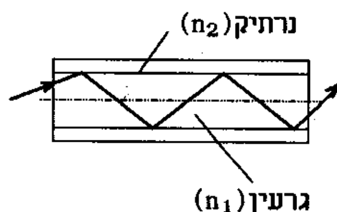
72. בתרשימים הבאים מתואר מעבר קרניים מזכוכית (n_1) למים (n_2). ציין איזה תרשים הוא בלתי-אפשרי.



73. קרן פוגעת במאונך בבסיס של מנסרה משולשת בעלת זוית ראש 60^o. המרחק בין מקום הפגיעה ובין קודקוד שמאלי הוא 2 ס"מ. צלע המנסרה שווה 10 ס"מ. חשב באיזה מרחק מהקודקוד תצא קרן מהמנסרה. מקדם שבירה של המנסרה הוא 1.6.



74. סיב אופטי בנוי משני סוגי זכוכית, כך שבגבול שביניהן מתרחשת החזרה גמורה. מהו מקדם השבירה של זכוכית הנרתיק, אם מקדם השבירה של הגרעין הוא 1.65 וקרניים פוגעות בגבול ביניהם בזוית 60^o ?



75. זוית ראש של מנסרה היא 45^o, מקדם השבירה שלה 1.6. מהי זוית הפגיעה המירבית כדי שקרן אור, הפוגעת בדופן אחת, תצא דרך הדופן השניה ?

76. אלומת האור יוצאת מבנזין לאויר. זוית קריטית של בנזין היא 40^o. חשב את מהירות האור בתוך בנזין.

77. שרטט את מהלך הקרניים במעבר ממים $(n = 1.3)$ לאויר אם זוית הפגיעה 56^o.

78. חשב זוית קריטית של יהלום באויר ובתוך מים. מקדם השבירה של יהלום הוא 2.4 ושל מים 1.3.

79. במיכל עם נוזל בעל מקדם שבירה 1.64, נמצא מקור אור בעומק 26 ס"מ מתחת לפני הנוזל. חשב את שטח המעגל של האור על פני הנוזל.

80. כדי למדוד עומק אגם הורידו לקרקעיתו מקור אור ומדדו את שטח המואר על פני המים. השטח יהיה שווה 285 מ"ר. מקדם השבירה של המים 1.3. מהו עומק האגם ?

81. א. בכוס גבוהה עם תמיסה הונח מטבע במרכז הקרקעית. דרך הדופן הצדדית אפשר לראות את המטבע רק עד 8 ס"מ מהתחתית. קוטר התחתית 12 ס"מ. מהו מקדם השבירה של התמיסה ?

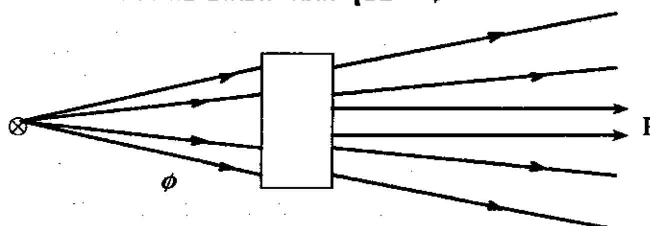
ב. מעבירים מטבע לכוס הזהה לזו שבשאלה הקודמת אבל מלאה במים. עד לאיזה גובה יהיה אפשר לראות את המטבע ?

2.5 בליעת האור

בכל העברת אור דרך חומר שקוף חלק מהאור נבלע, כלומר חלק מאנרגיית האור הופך לחום. אחוז הבליעה תלוי בחומר ובניקיון השטח. מאפיינים את הבליעה על ידי

מקדם העברה $\tau = \frac{F}{\phi}$ כאשר F - שטף האור אחרי יציאה מהחומר,

ϕ - שטף האור הפוגע בחומר.



כדי לחשב את עוצמת האור היוצא מהחומר, משתמשים בחוק לְמבֶּרט–בוגר:

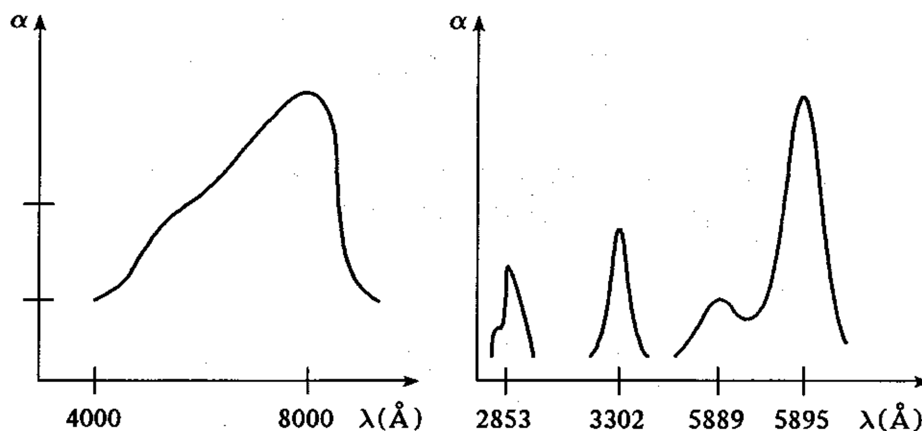
$$I = I_o \cdot e^{-\alpha d}$$

כאשר I_o – עוצמת האור הפוגע בחומר

α – מקדם בליעה אשר תלוי באורך גל

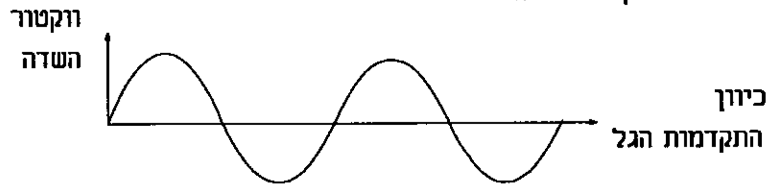
d – עובי החומר

בדרך כלל α נתון בצורת גרף או טבלה. לפעמים הגרף $\alpha = f(\lambda)$ נראה מסובך, אז ישנם תחומים של בליעה גדולה מאד וישנם תחומים של שקיפות.

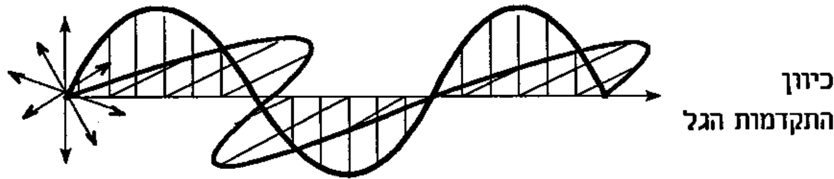


2.6 קיטוב האור

גלי-אור מהווים רק חלק קטן מהספקטרום הרחב של שדה אלקטרו-מגנטי. גלים אלה הם גלי אורך והם מתנודדים בכיוון ניצב לכיוון התקדמות הגל. כיוון ההתקדמות כאן מתואר על ידי וקטור השדה

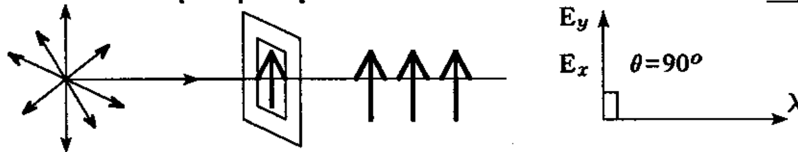


אלומת אור רגילה מורכבת מאינסוף גלים אשר מתנודדים באינסוף כיוונים וכולם ניצבים לכיוון התקדמות הגל. אלומה כזאת היא בלתי מקוטבת או מקוטבת בכל המישורים. כמו כן אם אור מתפשט רק במישור אחד (לדוגמה, במישור אופקי בלבד), אור כזה נקרא מקוטב קוי.

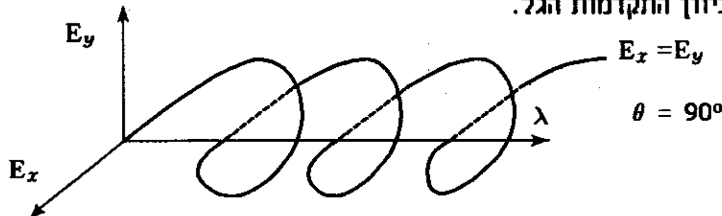


סוגי הקיטוב:

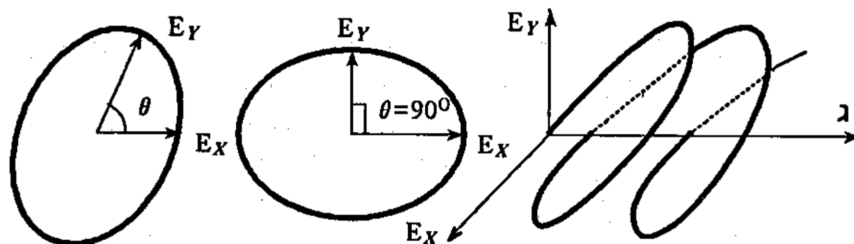
א. קווי - גל מתנודד במישור אחד כאילו עבר דרך סדק סינון דמיוני.



ב. מעגלי - גל מתנודד בצורה ספיראלית כאשר וקטור שדה חשמלי מאונך לווקטור שדה מגנטי ושניהם מאונכים לכיוון התקדמות הגל. וקטור שקול נע במעגל כאשר מרכזו מתקדם בכיוון התקדמות הגל.



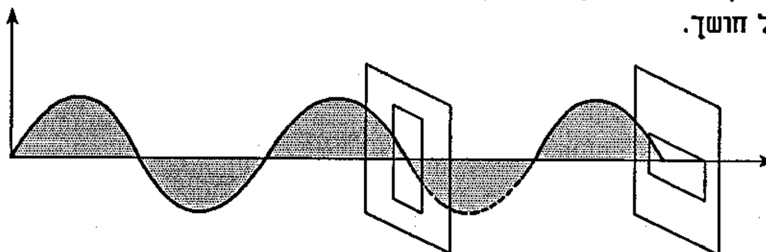
ג. אליפסי – שני וקטורים E_X ו E_Y לא שווים ונמצאים בזווית כלשהי זה לזה.



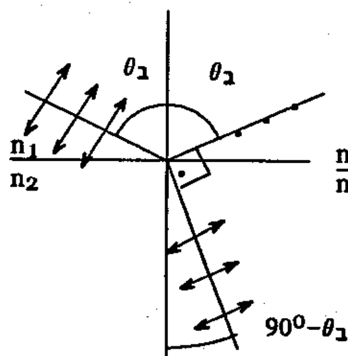
זווית θ זוהי זווית הפרש מופע בין שני וקטורים.

שיטות קיטוב:

1. באמצעות מקטבים. בטבע ישנם חומרים אשר מעבירים גלים המתנודדים בכיוון מסוים ויתר הגלים נבלעים. חומרים כאילו נקראים מקטבים. עין האדם לא מסוגלת להבחין בין אור רגיל למקוטב, לכן כדי לגלות אם אור מקוטב, יש להשתמש במקטב שני. אם מישור הקיטוב שלו מקביל למישור קיטוב האור, אז האור יעבור דרכו; אם מישור הקיטוב של המקטב מאונך למישור הקיטוב של האור, אז האור לא יעבור דרכו ויתקבל חושך.



2. באמצעות זוית ברוסטר. בכל פגיעת אור חלק מן האור מוחזר וחלק ממנו נשבר. לכל חומר זוית פגיעה משלו שלגביה קרן נשברת וקרן מוחזרת יהיו מקוטבות במישורים מאונכים. זוית זאת נקראת זוית ברוסטר. במקרה זה זוית בין הקרן הנשברת ובין הקרן המוחזרת היא 90^o.

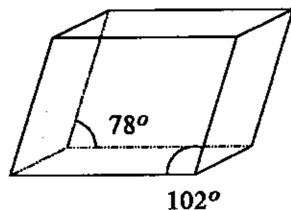


לפי חוק סנל: $\tan\theta_ב = \frac{\sin\theta_ב}{\cos\theta_ב} = \frac{\sin\theta_ב}{\sin(90^o-\theta_ב)} = \frac{n_2}{n_1}$

לפי מקדם השבירה ניתן לחשב זוית ברוסטר לכל סביבה. אם האור הפוגע אינו מקוטב, לא ניתן לראות את המצב המיוחד. אבל אם האור הפוגע מקוטב בכיוון

מסוים, האור הנשבר יהיה מקוטב באותו מישור ועוצמת האור המוחזר תהיה אפס. (העברה מלאה).

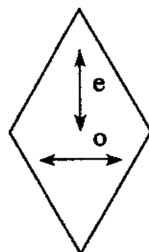
3. באמצעות שבירה כפולה. ישנם גבישים שהמבנה האטומי שלהם אינו זהה לפי כיוונים שונים, כלומר לחתך שלהם יש צורה של מנסרה מלבנית ולא קוביה.

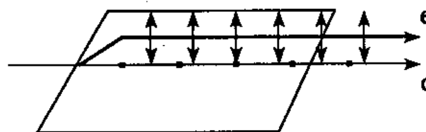


כאשר אור עובר דרך הגביש, מהירותו בכיוונים שונים - שונה. זה גורם להתפצלות הקרן הפוגעת לשתי קרניים: o - ordinary - קרן רגילה

e - extraordinary - קרן חריגה

לגבי קרן "o" מתקיים חוק סנל ולגבי קרן "e" לא מתקיים. בתוך הגביש שתי הקרניים הן מקבילות זו לזו. סיבוב הגביש סביב קרן "o" יגרום לסיבוב קרן "e" סביב קרן "o". מישורי הקיטוב של שתי הקרניים הם מאונכים.





חוק מלוס (Malus)

עוצמת האור העובר דרך שני מקטבים תלויה בעוצמת האור הפוגע ובזוית בין מישורי הקיטוב של המקטבים.

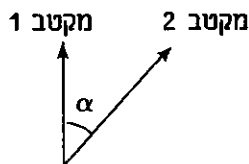
$$I = I_0 \cdot \cos^2\alpha$$

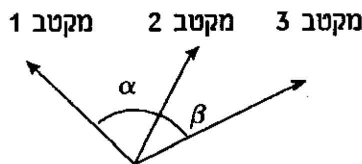
כאשר I - עוצמת האור אחרי המקטבים

I_0 - עוצמת האור הפוגעת

אם נתונים שלושה מקטבים, אחרי מקטב שלישי עוצמת האור תהיה:

$$I = I_0 \cdot \cos^2\alpha \cdot \cos^2\beta$$





מקרה פרטי כאשר מקטבים מאונכים זה לזה:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 90^o = 0$$

שימושים בקיטוב:

1. איפנון בתקשורת.

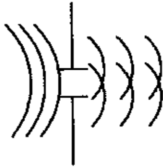
2. על-ידי שינוי מישור הקיטוב מונעים מקרן לייזר לחזור ללייזר ולשבש את השידור.
3. הקצוות של שפופרת לייזר, עשויות בזוית ברוסטר, מקנות העברה 100%, מינימום הפסדים.
4. בדיקת עיוותים בחומר, מתח פנימי, דפורמציות.
5. גילוי תאים סרטניים.

בעיות בקיטוב

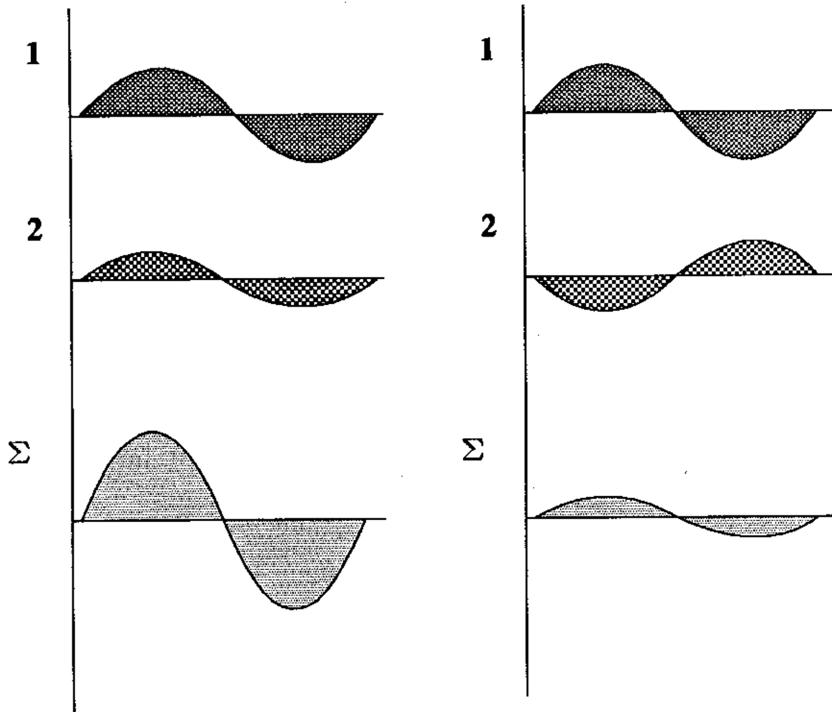
82. הסבר תופעה "אבסורדית": שני מקטבים מאונכים לא מעבירים אור. כאשר שמים ביניהם מקטב שלישי בזוית כלשהי - יש אור ביציאה !
83. חשב את עוצמת האור אחרי שני מקטבים, אם עוצמה בכניסה היא 40 נרות והזוית ביניהם היא 60^o.
84. בין שני מקטבים הזוית 20^o. מוסיפים להם מקטב שלישי בזוית 50^o למקטב השני. עוצמת האור ביציאה משלושת המקטבים היא 2 נרות. מהי עוצמת האור לפני המקטבים ?
85. שני מקטבים מורידים את עוצמת האור פי שלושה. באיזו זוית יש להוסיף מקטב שלישי, כדי שהעוצמה תקטן פי 4 ביחס לעוצמה ההתחלתית ?
86. שני מקטבים מקבילים מעבירים את מלוא העוצמה. פי כמה תרד עוצמת האור, אם מניחים ביניהם מקטב שלישי בזוית 30^o למקטב הראשון ?

2.7 עקיפה והתאבכות האור

תופעה זאת מוכיחה באופן משמעותי ביותר את טבע האור כגלים.
עקיפה מתקיימת כאשר אור עובר דרך סדק צר מאד בסדר גודל של אורך גל ($0.5\mu m$). במקרה זה במקום צל בצורת הסדק, מקבלים על המסך תמונה אחרת לגמרי: פסים או טבעות אור וחושך לסירוגין. תמונה זו נקראת תמונת התאבכות.
התקדמות האור זוהי התקדמות חזית הגל ובעוברה דרך סדק צר הגל עוקף את הסדק.
כאשר אור מגיע אל המסך, מתקיים מפגש גלים בעלי אותו מופע.



תנאי הכרחי לקבלת תמונת התאבכות הוא אור קוהרנטי – אור בעל הפרש מופע קבוע. במפגש גלים יכולות להיות שתי אפשרויות:
א. גלים נפגשים ב max שלהם – התאבכות בונה.
ב. גלים נפגשים אחד – ב max, ושני – ב min – התאבכות הורסת

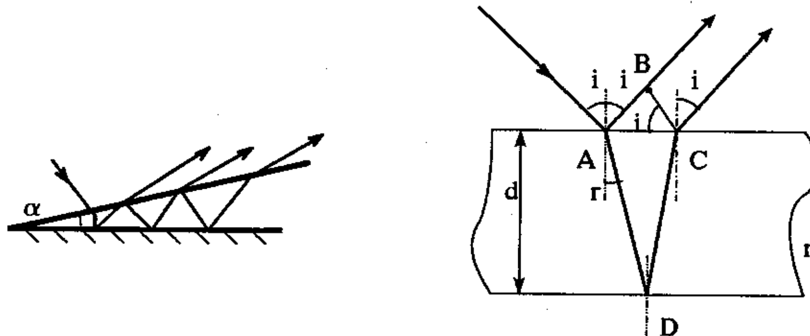


התאבכות בונה   התאבכות הורסת

במקרה א' עוצמת האור תהיה חזקה יותר (חיבור אמפליטודות), אך במקרה ב' יהיה חושך (חיסור אמפליטודות).

2.8 טבעות ניוטון ופסי פיזו

התאבכות האור בשכבות דקות מתוארת היטב בתופעות של טבעות ניוטון ופסי פיזו. פסי פיזו נוצרים כאשר בין שני משטחים ישנו חלל בצורת יתד. זה קורה כאשר שטח אחד לא שטוח לגמרי, לכן שיטת פסי פיזו שימושית לבדיקת טיב השטח.



α – זוית קטנה מאד, כך שניתן לתאר שני שטחים כמעט מקבילים. אור פוגע בשטח עליון: חלקו מוחזר וחלקו נשבר, מוחזר מהשטח התחתון ויוצא במקביל לקרן המוחזרת הראשונה. מכיוון ששתי קרניים יצאו מאותה אלומה הפוגעת, הן קוהרנטיות. ביניהן ישנו הפרש דרכים אופטיות. (דרך אופטית = דרך שהקרן עוברת · מקדם השבירה של החומר). הפרש דרכים מתואר בתרשים: $\triangle = AB - ADC$

$$ADC = AD + DC = \frac{2\,d \cdot n}{\cos r} \qquad AB = \frac{2\,d \cdot \sin r}{\cos r} \cdot \sin i = 2\,d \cdot \sin i \cdot \tan r$$

לפי חוק סנל: $\sin i = n \cdot \sin r$

לכן $AB = 2\,d \cdot n \cdot \frac{\sin r}{\cos r}$

$$\triangle = ADC - AB = \frac{2\,d \cdot n}{\cos r} - \frac{2\,d \cdot n \cdot \sin^2 r}{\cos r} = 2\,d \cdot n \cdot \cos r$$

תנאי להתאבכות בונה הוא מפגש קרניים בעלות הפרש מופע שווה למספר שלם של אורכי גל. במקרה של שכבות דקות נפגשות שתי קרניים, כאשר אחת עברה החזרה. בכל החזרה מופע מתהפך בחצי גל ($180°$). לכן:

תנאי להתאבכות בונה (אור) – $\triangle = (m + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$

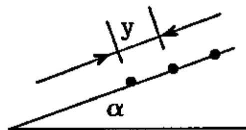
תנאי להתאבכות הורסת (חושך) – $\triangle = m \cdot \lambda$

מכיוון שזוית היתד קטנה מאד, גם זוית r שואפת לאפס, לכן $\triangle = 2\,d \cdot n$

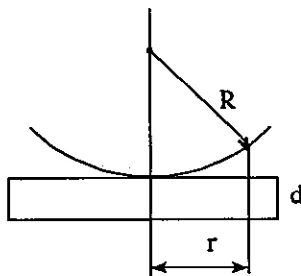
<u>תנאי התאבכות</u> יהיו בהתאם: פס אור – $2\,d \cdot n = (m + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$

פס חושך – $2\,d \cdot n = m \cdot \lambda$

אם שטח אחד לא מספיק שטוח ונוצר יתד, אנו נראה פסי פיזור אשר תלוים בעובי היתד d. $y \cdot \sin\alpha = \lambda$



תופעה דומה נוצרת כאשר שטח אחד ספֵרי, בעל עקמומיות. שכבת אויר, בעלת עובי קטן, גורמת ליצירת טבעות התאבכות - טבעות ניוטון.
במרכז, במקומות שהשטחים נוגעים זה לזה, נוצר כתם חושך ומסביב - טבעות אור-חושך לסירוגין.



$$(R-d)^2 + r^2 = R^2$$

$$R^2 - 2 \cdot R \cdot d + r^2 = R^2$$

ניתן להזניח d - כי הוא קטן מאד.

$$r = 2 \cdot R \cdot d$$

כדי לראות את טבעות ניוטון, יש להסתכל דרך מיקרוסקופ. ניתן למדוד רדיוס r_m של m טבעות ולפי זה לחשב עקמומיות R. בשיטה זו מודדים רדיוסים של עדשות.

$r_m^2 = m \cdot R \cdot \lambda$ - רדיוס של טבעת חושך.

בעיות בטבעות ניוטון.

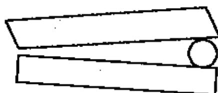
87. למדידת רדיוס העדשה הצמידו אותה לשטח ישר והתבוננו דרך מיקרוסקופ על טבעות ניוטון. מדדו רדיוס של 10 טבעות והוא 5 מ"מ. במדידה השתמשו באור בעל אורך גל $0.65\ \mu m$. מהו רדיוס העדשה ?

88. מודדים רדיוס של כדור זכוכית בעזרת טבעות ניוטון. רדיוס של 6 טבעות הוא 2.7 מ"מ ורדיוס הכדור יצא 2.5 מ'. באיזה אור השתמשו במדידה ?

89. מתבוננים דרך מיקרוסקופ על טבעות ניוטון, הנוצרות מעדשה בעלת רדיוס 1.8 מ'. בהתחלה משתמשים במקור אור מונוכרומטי בעל אורך גל $0.52\ \mu m$ ואחר כך מחליפים אותו למקור אור בעל אורך גל $0.78\ \mu m$. איך ישתנה רדיוס של 5 טבעות ?

90. כדי למדוד רדיוס עקמומיות, הקרינו אור בעל אורך גל $0.48\ \mu m$ ואחרי זה החליפו אותו לאור בעל אורך גל אחר. במדידה התברר שרדיוס של 6 טבעות במקרה הראשון שווה לרדיוס של 4 טבעות במקרה השני. מהו אורך גל של האור במקרה השני ?

91. כדי למדוד עובי של שערה, הניחו אותה בין שני לוחות זכוכית בקצה. את קצה השני של הלוחיות סגרו עם הדק. נוצר יתד. הקרינו על היתד אור בעל אורך גל 6000Å והתבוננו בפסי פיזור. המרחק בין שני פסים סמוכים היה 2 מ"מ. אורך הלוחית 10 ס"מ. מהו עובי השערה ?



92. בין שני לוחות זכוכית בעלי אורך 8 ס"מ הכניסו בצד אחד חוט דקיק בעל קוטר $65\ \mu m$ ואת הצד השני הידקו. הקרינו על הלוחית אור והתבוננו בפסי פיזור. המרחק בין שני פסים סמוכים היה 1 מ"מ. מהו אורך גל של האור המוקרן ?

93. כדי ליצור פסי פיזור, מקרינים אור בעל אורך גל 450 nm ומקבלים פסים כשהמרחק ביניהם 0.8 מ"מ. מה יהיה המרחק בין הפסים אם באותה מערכת נקרין אור בעל אורך גל $0.75\ \mu m$?

94. מודדים קוטר של כדורים קטנים בעזרת פסי פיזור. לשם כך מכניסים כדור אחד בין שני לוחות פֶּרְסְפֶּקְס ואת הקצה השני של הלוחות מהדקים. קוטר של הכדור הראשון הוא $10\ \mu m$ והמרחק בין פסי פיזור היה 2.4 מ"מ. כאשר הכניסו כדור שני, המרחק בין הפסים נעשה 0.6 מ"מ. מהו הקוטר של הכדור השני ?

95. במדידת רדיוס בעזרת טבעות ניוטון השתמשו באור בעל אורך גל 500 nm. מדדו את רדיוס העדשה והוא 80 ס"מ. מה היה הרדיוס של הטבעת המרכזית ?

96. מודדים רדיוס עקמומיות של כדור שקוף,והוא 50 ס"מ, בעזרת מקור אור בעל אורך גל 6775 Å. ניתן לראות ברור רק את הטבעות בעלי רדיוס 2 מ"מ. מהו מספר הטבעות הנראות ברור ?

2.9 לחץ של אור

אור זהו פוטונים, שמתנהגים כמו חלקיקים וכמו גלים בו זמנית. את התנהגותם כחלקיקים מוכיחה תופעת לחץ אור.

כל פוטון נושא אנרגיה $E = hf$, ולכן יש לו גם תנע $m_e \cdot c = \frac{hf}{c} = \frac{E}{c}$ $(E = m \cdot c^2)$. כאשר פוטון פוגע בשטח מחזיר (כמו מראה), התנע שלו משנה סימן ואז תנע כללי, המועבר לשטח, הוא: $\frac{2hf}{c}$

<u>לחץ שמפעיל אור</u> על 1 סמ"ר של שטח במשך שניה אחת - זהו תנע של אור בפגיעתו בשטח זה. אם מקדם החזרה של השטח הוא ρ (רק במקרה אידיאלי $\rho = 1$), הלחץ יהיה שווה $p = \frac{E}{c} \cdot (1 + \rho)$.

בפגיעה משתתפים N פוטונים, לכן: $p_T = \frac{Nhf}{c} \cdot (1 + \rho)$

מַקְסְוֶול חישב את הכוח אשר קרני שמש מפעילות ביום בהיר על משטח שחור בעל שטח 1 מ"ר והוא 0.4 מיליגרם.

לחץ האור מסביר הרבה תופעות בטבע וכמובן באסטרונומיה.

1. זנבי כוכבי שביט נוצרים בהתקרבותם לשמש ותמיד בכיוון מנוגד לשמש. חלקים קטנים של כוכב שביט מקבלים לחץ של קרני שמש ונזרקים אחורה. לחץ אור, הפועל על חלקיקים קטנים, גדול יותר ממשיכת השמש, הפועלת עליהם במרחקים קטנים יחסית מהשמש.

2. מדענים שמו לב מזמן שמסת הכוכב אינה יכולה להיות גדולה בלי הגבלה, אלא ישנה מסה מירבית שמעליה הכוכב מתפרק ולא יכול להתקיים. כאשר מסה של כוכב גדלה, כתוצאה מכך גדלה הטמפרטורה בשכבות הפנימיות עד מיליון מעלות צלסיוס. זה גורם להגדלת לחץ אור. כל התהליך נמשך עד שמתקיים איזון בין כוח משיכה של הכוכב וכוח דחייה בגלל לחץ האור. כאשר מסת הכוכב גדלה מעל האיזון, הכוכב נעשה בלתי יציב ויכול להתפרק.

פרק 3

רכיבים אופטיים

3.1 מראות

קיימים שלושה סוגי מראות: 1. מישורית
2. קעורה
3. קמורה

<u>מראה מישורית</u> - היא בעלת רדיוס עקמומיות אינסופי. הדמות המתקבלת תהא תמיד מדומה, בלי הגדלה וישרה.

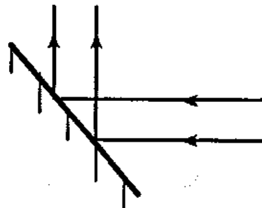
<u>דמות מדומה</u> - זוהי דמות אשר נוצרת על ידי המשכי הקרניים המתפזרות, ולכן לא ניתן לקבל דמות מדומה על מסך, כי היא לא קיימת במציאות. אפשר להוכיח שהמרחקים בין העצם למראה ובין הדמות למראה הם שווים. קרניים פוגעות מעצם A במראה. הן מוחזרות לפי חוקי ההחזרה. בציור מסומנות כל הזויות ב ABO △ ו A'BO △. לפי שוויון זויות וצלע משותף BO המשולשים חופפים. כתוצאה AO=A'O.

כדי לבנות דמות במראה מישורית מספיק להוריד אנך מכל נקודה של העצם אל המראה ולהמשיך אותו מאחורי המראה לאותו מרחק.



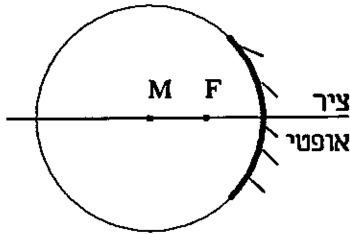
<u>שימוש</u>

השימושים במראה מישורית רבים: מראות בבית, במקומות ציבוריים, במכשירים אופטיים להפניית הקרניים.



מראה קעורה

מראה הבנויה קשת של מעגל עם ציפוי בצד חיצוני של עקמומיות.



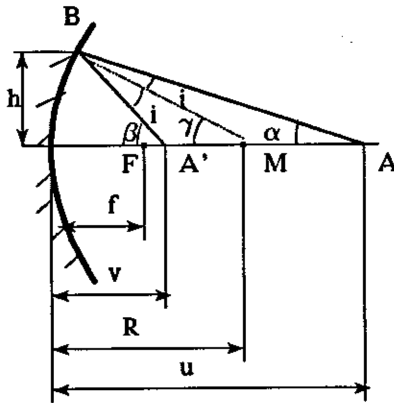
M – מרכז עקמומיות

F – <u>נקודת מוקד המראה</u> – זוהי נקודה שבה נפגשות הקרניים אחרי אחזרתן מהמראה, כאשר הן פוגעות במקביל לציר אופטי.

<u>ציר אופטי ראשי</u> – זהו קו העובר דרך מרכז עקמומיות ומרכז המראה.

<u>מרחק המוקד</u> – זהו מרחק בין המוקד ובין המראה. (f – focus)

כך נסמן מרחקים אלה:



u – מרחק בין עצם ובין מראה

v – מרחק בין דמות ובין מראה

A – זהו עצם, A' – זוהי דמות

γ – זוית חיצונית ל $\triangle ABM$

β – זוית חיצונית ל $\triangle A'BM$

$\gamma = i + \alpha \qquad \alpha = \gamma - i$

$\beta = i + \gamma \qquad \alpha + \beta = 2\gamma$

נוסחת המראה מתאימה לקרניים הקרובות לציר אופטי, כל הזויות הן קטנות מאד, לכן:

$$\sin\alpha \approx \alpha, \quad \sin\beta \approx \beta, \quad \sin\gamma \approx \gamma$$

$$\alpha = \frac{h}{u}; \qquad \beta = \frac{h}{v}; \qquad \gamma = \frac{h}{R}$$

$$\boxed{\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{R}}$$

כאשר קרניים פוגעות במקביל לציר אופטי, ז"א $u = \infty$, $f = v = \frac{R}{2}$.

מכאן $\boxed{f = \frac{R}{2}}$

אם הדמות מדומה, מרחק v יהיה שלילי.

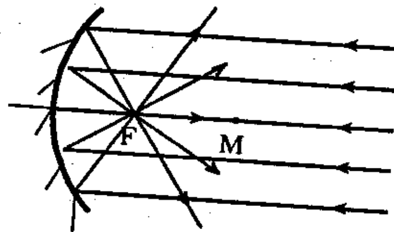
לפעמים נוח להשתמש בנוסחת ניוטון:

כאשר S – מרחק בין העצם ובין המוקד

S' – מרחק בין הדמות ובין המוקד

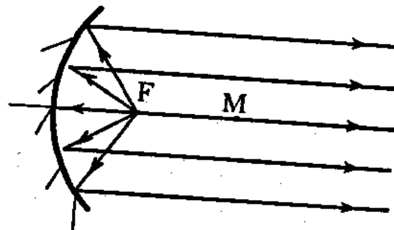
$$\boxed{S \cdot S' = f^2}$$

מקרים שונים של בניית הדמות במראה קעורה



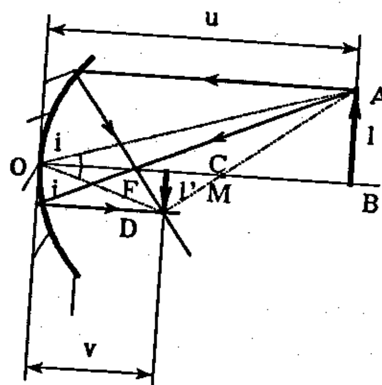
1. $u = \infty$

דמות במוקד - $v = f$



2. $u = f$

דמות באינסוף - $v = \infty$



3. $u > R$

<u>הדמות ממשית, הפוכה ומוקטנת</u>

במפגש הקרניים המוחזרות נוצרת דמות.

כדי לבנות דמות משתמשים בשתי קרניים (שלישית לבדיקה):

א. קרן פוגעת במקביל לציר אופטי, היא מוחזרת דרך המוקד F.

ב. קרן פוגעת דרך המוקד, היא מוחזרת במקביל לציר אופטי.

ג. (לבדיקה) קרן עוברת דרך מרכז M, מוחזרת מהמראה באותה דרך.

<u>הגדלת המראה</u> - זהו יחס בין אורך הדמות ובין אורך העצם.

$$H = \frac{l'}{l}$$

קרן מקווקוות AO מוחזרת דרך OD (מכיוון שכל הקרניים, היוצאות מהעצם, מוחזרות אל הדמות). לפי חוקי ההחזרה: $\angle COD = \angle AOB$. משולשים AOB ו COD דומים.

ניתן לרשום יחס: $H = \frac{l'}{l} = \frac{v}{u}$ מכאן $H = \left|\frac{v}{u}\right|$

אם $H > 1$, מתקבלת הגדלה

אם $H < 1$, מתקבלת הקטנה

אם $H = 1$, דמות שווה לעצם

לפי זה ניתן להחליט אם הדמות <u>מוקטנת או מוגדלת</u>. (לפי שרטוט לא ניתן להבחין באופן ברור בהגדלה).

כדי להחליט אם הדמות <u>ממשית או מדומה</u> יש לבדוק אם היא נוצרה על-ידי קרניים

(ממש) או על-ידי המשכי הקרניים המתפזרות.

.4 $u = R$

הדמות ממשית, הפוכה ושווה לעצם.

$v = u \quad H = 1$

.5 $f < u < R$

הדמות ממשית, הפוכה ומוגדלת.

המקרה הזה הפוך למקרה 3. $v > u$

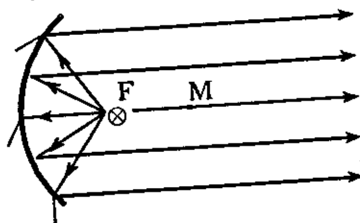
.6 $u < f$

הדמות מדומה, ישרה ומוגדלת.

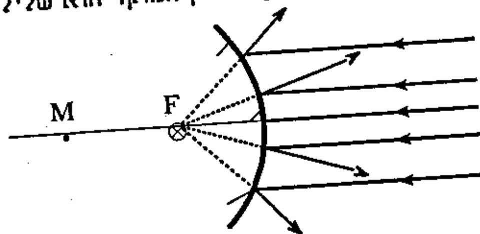
מכיון שהקרניים המוחזרות הן מתפזרות, אנו ממשיכים אותן (בדמיון) מאחורי המראה ושם נוצרת דמות. משום שבמציאות הקרניים לא עוברות דרך מראה, הדמות היא מדומה ומרחק <u>v – שלילי</u>. על ההגדלה זה לא משפיע כי היא תלויה בערך המוחלט של v.

<u>שימוש במראה קעורה:</u> בזרקור.

את מקור האור שמים במוקד המראה, ואז כל הקרניים מוחזרות באלומה מקבילה לכיוון אחד בנוסף לקרניים שגם יוצאות בכיוון זה. זרקור יוצר אלומה מכוונת בעלת עוצמת אור גבוהה, לכן הוא שימושי בבימות, איצטדיונים, בצבא, בקולנוע.



<u>מראה קמורה</u> – זוהי מראה בצורת קשת עם ציפוי פנימי. מרכז המראה ומוקדה נמצאים בצד אחר מזה שהקרניים פוגעות בו, לכן מרחק המוקד הוא שלילי.



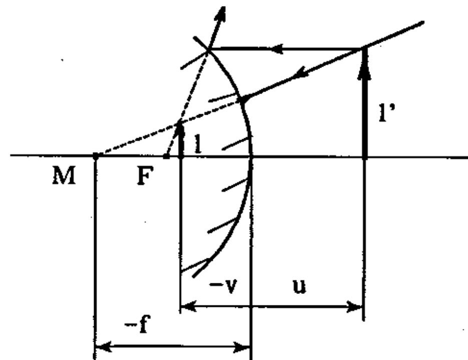
בניית הדמות במראה קמורה

שיטת הבנייה דומה למראה קעורה, אבל מראה קמורה מפזרת קרניים.

1. קרן ראשונה – מקבילה לציר אופטי והיא מוחזרת כאילו היא יצאה מהמוקד (מקורקור).
2. קרן שניה – פוגעת במראה כאילו היא מתכוונת לעבור למרכז M והיא מוחזרת באותה דרך שפגעה.

הקרניים המוחזרות מתפזרות, לכן אנו ממשיכים אותן מאחורי המראה ובמפגש המשכיהן נמצאת הדמות.

הדמות מדומה, ישרה ומוקטנת. מרחק v – שלילי, כי הוא נמצא בצד השני של המראה.



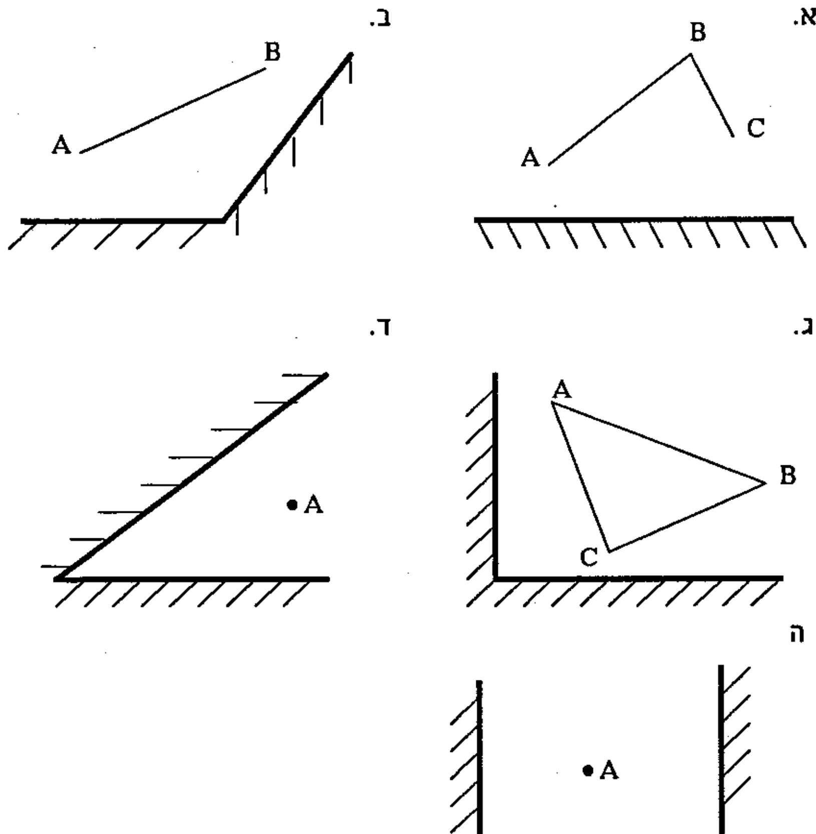
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = -\frac{2}{R} = \frac{1}{f} \qquad H = \left|\frac{v}{u}\right|$$

שימוש במראה קמורה – במכונית.

במכונית לא משתמשים במראה מישורית או קעורה כי הן יוצרות דמות שווה לעצם או מוגדלת והפוכה (בקעורה). מראה קמורה תמיד יוצרת דמות ישרה ומוקטנת – זה נותן אפשרות לראות למשל חלק גדול של כלי רכב שנוסעים מאחור.

בעיות במראות

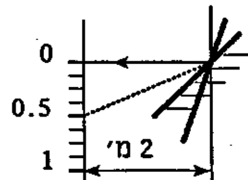
98. בנה דמויות במראות מישוריות:



99. קרני שמש נופלות ארצה בזוית 50^0 לאופק. באיזו זוית יש לשים מראה מישורית, כדי שקרניים יפנו לכיוון אופקי?

100. מהו אורך המראה המישורית הקטנה ביותר ובאיזה גובה יש לתלות אותה כדי שאדם בעל גובה h יראה את עצמו בגובה מלא ?

101. מראה מישורית מפנה קרניים ב 90^o לכיוון סקלה המכוילת במטרים. הקרניים פוגעות ב "0". עקב תזוזת המראה סטתה הקרן המוחזרת ל 0.5 מ'. מרחק בין המראה ובין הסקלה הוא 2 מ'. מהי זוית סטית המראה ?



102. בין שתי מראות מישוריות, הנמצאות בזוית 60^o זו לזו, מניחים כדור קטן על חוצה זוית במרחק 5 ס"מ מהקודקוד. מהו המרחק בין שתי הדמויות הראשונות של הכדור ?

103. במראה קעורה קיבלו דמות ממשית וקטנה פי 2 מהעצם. מרחק בין העצם ובין הדמות הוא 75 ס"מ. מהו מרחק מוקד המראה ?

104. מרחק המוקד של מראה קעורה הוא 25 ס"מ. מהו רדיוס המראה ?

105. ילד בעל גובה 150 ס"מ עומד במרחק 6 מ' ממראה קעורה. דמותו נמצאת במרחק 60 ס"מ מהמראה.

א. מהו מרחק המוקד של המראה ?

ב. מהו גובה הדמות ?

ג. שרטט מהלך הקרניים והדמות.

106. שרטט דמות במראה קעורה של נקודה, הנמצאת על ציר אופטי ראשי.

107. דמות ממשית של העצם נמצאת במרחק 50 ס"מ ממראה קעורה בעלת רדיוס 30 ס"מ. א. איפה נמצא העצם ?

ב. מהי ההגדלה ?

108. מקור אור נמצא במרחק 10 ס"מ ממראה קעורה בעלת מוקד 18 ס"מ.

א. האם ניתן לראות את דמותו על המסך ?

ב. מהו גודל הדמות אם גודל חוט הלהט של מקור האור הוא 8 ס"מ ?

ג. שרטט את מהלך הקרניים עם בניית הדמות. תאפיין את הדמות.

109. לפני מראה קעורה בעלת מוקד 12 ס"מ נמצא עצם במרחק 24 ס"מ.

א. מהי הגדלה במקרה זה ?

ב. שרטט את מהלך הקרניים עם בניית הדמות. תאפיין את הדמות.

110. רדיוס המראה הקעורה הוא 24 ס"מ. עצם נמצא במרחק 20 ס"מ מהמראה.

א. איפה נמצאת הדמות ?

ב. תאפיין אותה ושרטט את מהלך הקרניים.

ג. מהי הגדלה ?

111. כאשר עצם נמצא במרחק 12 ס"מ ממראה קעורה מתקבלת דמות ממשית במרחק 24 ס"מ ממנה. איפה תהיה הדמות אם העצם יזוז ב 1 ס"מ מהמראה ?

112. חשב את רדיוס המראה הקעורה אם מהעצם, הנמצא ב 18 ס"מ מהמראה, מתקבלת דמות מדומה במרחק 28 ס"מ מאחורי המראה .

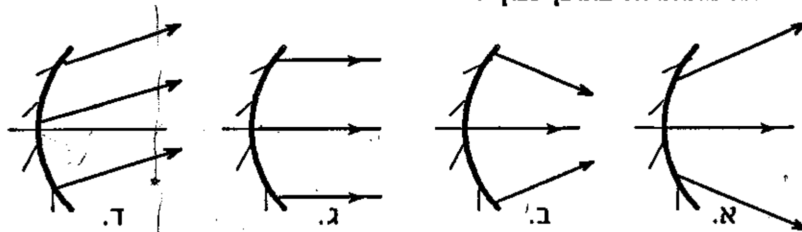
113. א. אדם עומד במרחק גדול מהמוקד של מראה קעורה. כיצד יראה הוא את פניו? שרטט את הדמות.

ב. אם הוא יעבור למקום בין המוקד ובין המראה, מה ישתנה בדמות של פניו ?

114. רדיוס המראה הקעורה הוא 180 ס"מ. דמות במראה יוצאת קטנה פי 3 מהעצם. מהו המרחק בין הדמות ובין המראה ?

115. במצב מסוים של העצם לגבי מראה קעורה מתקבלת דמות מוגדלת פי 3. כאשר מרחיקים את העצם ב 15 ס"מ מן המראה, ההגדלה היא $H = 2$. חשב את מרחק המוקד של המראה.

116. מקור אור נמצא בין מראה קעורה ובין מוקדה. באיזה ציור הקרניים המוחזרות מהמראה מתוארות באופן נכון ?



117. מרחק המוקד של מראה קעורה הוא 30 ס"מ.

א. חשב את המרחק בין העצם ובין המראה, כאשר דמות יוצאת ממשית ומוגדלת פי 4.

ב. חשב את מיקום העצם, כאשר הדמות יוצאת מדומה ומוגדלת פי 2.

ג. שרטט את מהלך הקרניים בשני המקרים.

118. עצם נמצא במרחק 60 ס"מ מהמוקד של המראה הקעורה. הדמות מתקבלת ממשית ומוגדלת פי 2. מהו מרחק המוקד של המראה ?

119. עצם נמצא במרחק 25 ס"מ לפני מראה כדורית ומתקבלת דמות על המסך. הדמות מוגדלת פי 5.

א. האם המראה היא קעורה או קמורה ? נמק.

ב. מהו רדיוס המראה ?

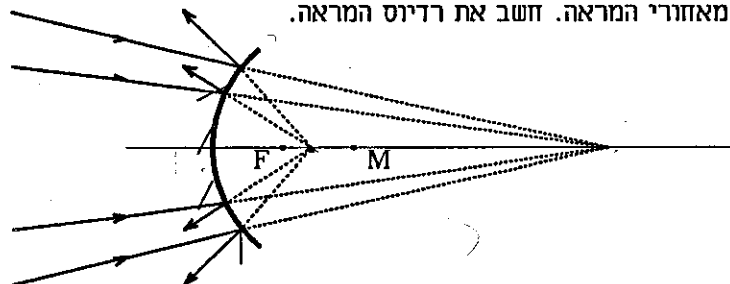
ג. שרטט את מהלך הקרניים.

120. עצם עומד לפני מראה קמורה במרחק 12 ס"מ ממנה. רדיוס המראה הוא 24ס"מ. איפה נמצאת הדמות ? שרטט את מהלך הקרניים.

121. עצם מונח לפני מראה קמורה ומתקבלת דמות במרחק 10 ס"מ מאחורי המראה. מרחק המוקד של המראה הוא 15 ס"מ. מהו מיקום העצם ? תאפיין את הדמות.

122. במראה קמורה בעלת רדיוס 20 ס"מ מתקבלת דמות במרחק 5 ס"מ מאחורי המראה. גודל הדמות 2 ס"מ. מהו גודל העצם ?

123. הקרניים פוגעות במראה קמורה כך שהמשכיהן נפגשים מאחורי המראה במרחק 95 ס"מ ממנה. אחרי החזרה הקרניים מתפזרות כך שהמשכיהן נפגשים במרחק 20 ס"מ מאחורי המראה. חשב את רדיוס המראה.



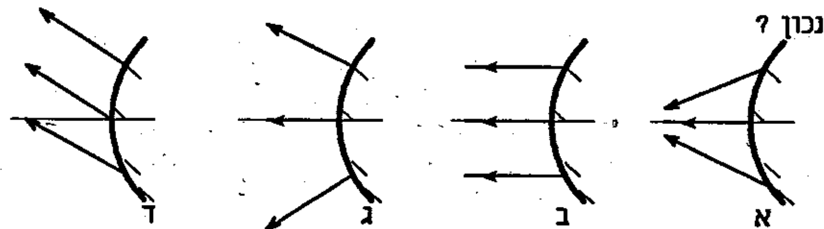
124. רדיוס של מראה קמורה הוא 8 ס"מ ועצם נמצא במרחק 5 ס"מ מהמראה.

א. איפה מתקבלת דמות ?

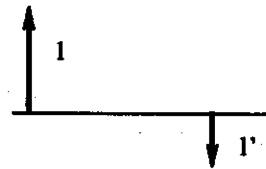
ב. מהי הגדלתה ?

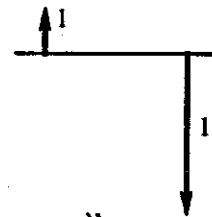
ג. שרטט את מהלך הקרניים.

125. עצם נמצא לפני מראה קמורה במרחק קטן מהמוקד שלה. איזה מהתרשימים הוא נכון ?



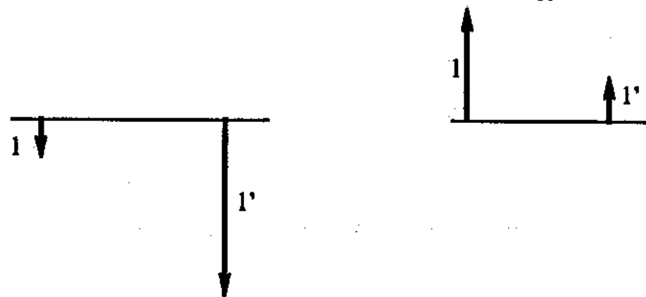
126. לפי הנתונים: עצם, דמות וציר אופטי – מצא באופן גרפי את מיקום המראה ואת מוקדה. קבע אם היא קעורה או קמורה. נמק.

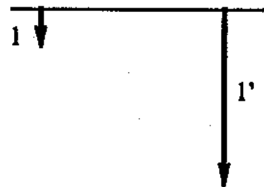




ב

א

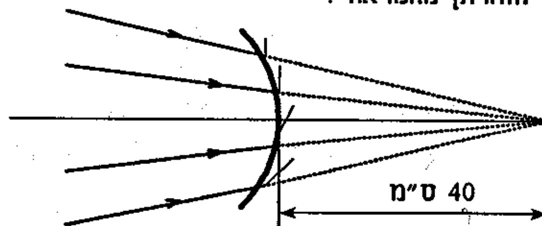




ד

ג

127. על מראה קעורה נופלת אלומה מרוכזת של אור, כך שהמשכי הקרניים נפגשים במרחק 40 ס"מ מאחורי המראה. רדיוס המראה 80 ס"מ. איפה ייפגשו הקרניים אחרי החזרתן מהמראה ?

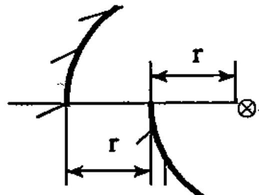


128. דמות ממשית מתקבלת במראה קעורה והיא גדולה פי 3 מהעצם. כאשר הרחיקו

את העצם מהמראה ב 80 ס"מ, דמותו נעשתה קטנה ממנו פי 2. חשב את מרחק המוקד של המראה.

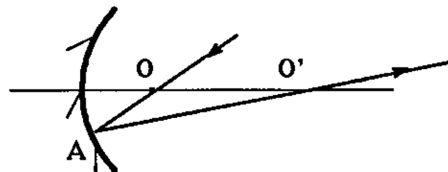
129. על ציר אופטי של מראה קעורה בעלת רדיוס r נמצא מקור אור בנקודה S. מרחק בין S והמראה הוא $\frac{3}{4}$ r. באיזה מרחק מהמראה יש לשים מראה מישורית, כדי שהקרניים ממקור אור, המוחזרות משתי מראות, יתרכזו בנקודה S ?

130. במרכז של מראה קעורה נמצא מקור אור. חותכים את המראה לשני חצאים, ומזיזים חצי מראה עליון במרחק השווה לרדיוס r. חשב את המרחק בין הדמויות של מקור האור.



131. מראה קעורה יוצרת דמות מוגדלת פי 4 לעומת העצם. חשב את מרחק המוקד של המראה, אם מרחק בין העצם ובין הדמות הוא 1.5 מ'.

132. קרן OA פוגעת במראה קעורה ומוחזרת דרך AO'. מצא בדרך גרפית את מוקד המראה.



133. מוקד של מראה קעורה נמצא במרחק 24 ס"מ ממקור אור ובמרחק 54 ס"מ מדמותו. חשב את הגדלת הדמות.

134. עצם נקודתי נמצא במרחק 75 ס"מ ממראה קעורה ובמרחק 5 ס"מ מהציר האופטי שלה. דמות מתקבלת במרחק 20 ס"מ מהציר האופטי. חשב את רדיוס המראה אם: א. הדמות ממשית.
ב. הדמות מדומה.

135. עצם נקודתי נמצא במרחק 20 ס"מ מהציר האופטי של מראה קעורה. דמותו המדומה נמצאת במרחק 50 ס"מ מאותו ציר. מהו היחס בין מרחק המוקד של המראה ובין המרחק מהעצם למוקד ?

136. מרחק בין מוקד של מראה קעורה ובין מרכזה מחולק לשלושה מרחקים שווים ובנקודות המתקבלות קובעים שני מקורות אור. מהו המרחק בין הדמויות של מקורות אור אלה ? רדיוס המראה הוא R.

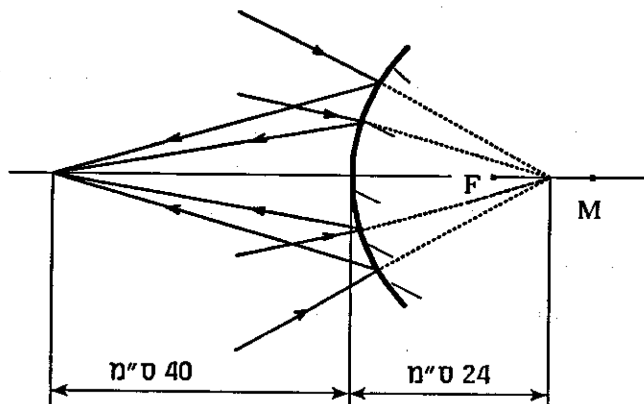
137. אלומת קרניים מתרכזות פוגעת במראה קעורה, כך שהמשכי הקרניים נפגשים מאחורי המראה במרחק 20 ס"מ ממנה. אחרי החזרה הקרניים נפגשות לפני המראה במרחק השווה $\frac{1}{5}$ ממרחק המוקד. חשב את רדיוס המראה.

138. קרניים מרוכזות פוגעות במראה קעורה בעלת מרחק המוקד 50 ס"מ. אחרי

החזרה הן נפגשות בנקודה, הנמצאת במרחק 20 ס"מ מהמראה ובמרחק 15 ס"מ מהציר האופטי שלה. באיזה מרחק מהציר היו נפגשות הקרניים, אילו המשיכו בלי מראה ?

139. מרחק המוקד של מראה קמורה הוא 20 ס"מ. באיזה מרחק מהמראה נמצא עצם אם דמותו מתקבלת מוקטנת פי 2 ? שרטט את הדמות.

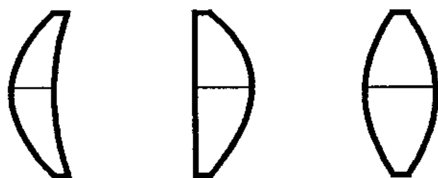
140. קרניים מרוכזות פוגעות במראה קמורה, כך שהמשכיהן נפגשים מאחורי המראה במרחק 24 ס"מ ממנה. אחרי החזרה הן נפגשות לפני המראה במרחק 40 ס"מ ממנה. חשב את רדיוס המראה.



3.2 עדשות

ישנם שני סוגי עדשות: מרכזת ומפזרת.

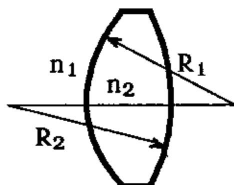
כדי להבדיל בין העדשות יש להשוות את העובי בקצוות ובמרכז העדשה. אם עובי במרכז העדשה גדול יותר מהעובי בקצוות – זאת עדשה מרכזת.



אם עובי העדשה במרכז קטן יותר מעוביה בקצוות – זאת עדשה מפזרת.



ישנם שלושה ערכים המאפיינים את העדשה: שני רדיוסים ומקדם שבירה של חומר העדשה.



עוצמת העדשה:

$$F = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1}\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

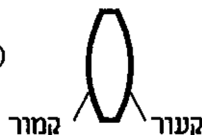
אם עדשה נמצאת באויר, $n_1 = 1$ ואז $\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

אם מרחק המוקד f נמדד במטרים, עוצמת העדשה F נמדדת בדיאופטריות. לדוגמה, מוקד העדשה שווה 20 ס"מ, עוצמת העדשה תהיה שווה: $F = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.2} = 5\ D$

ישנו כלל הסימנים של העדשה:

משטח קמור – רדיוס חיובי, משטח קעור – רדיוס שלילי.

לעדשה מרכזת:



$0 < \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{-R_2}\right)$ – תמיד $\quad f > 0$

לכן עדשה מרכזת נקראת גם חיובית.

לעדשה מפזרת: קמור קעור $\left(\frac{1}{-R_1} - \frac{1}{R_2}\right) < 0$ – תמיד $f < 0$

לכן עדשה מפזרת נקראת גם שלילית.

נוסחה נוספת מתארת תלות בין מרחקי עצם ודמות מעדשה לבין מוקד:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}}$$

u – מרחק בין עצם ובין עדשה

v – מרחק בין דמות ובין עדשה

f – מרחק המוקד של העדשה

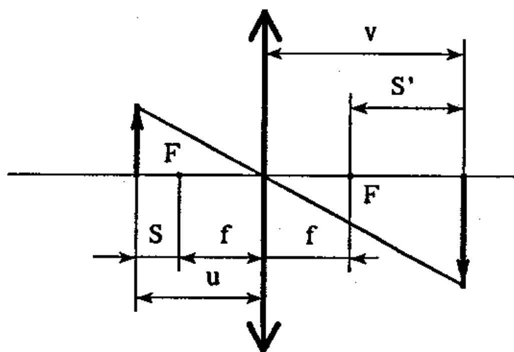
אם הדמות נמצאת בצד שני של העדשה לגבי העצם, v – חיובי.

אם הדמות מתקבלת באותו צד שהעצם, v – שלילי.

אם העצם נמצא בצד השני של העדשה לגבי הקרניים הפוגעות (עצם מדומה),

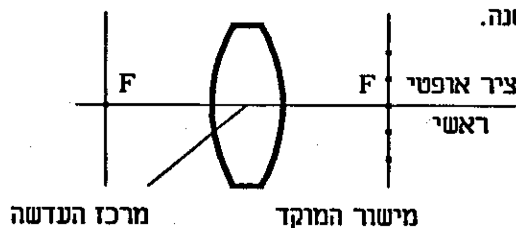
u – שלילי.

ניתן להשתמש בנוסחת ניוטון למראה גם לגבי עדשה. $\boxed{S \cdot S' = f^2}$



<u>בניית הדמות בעדשה מרכזת</u>

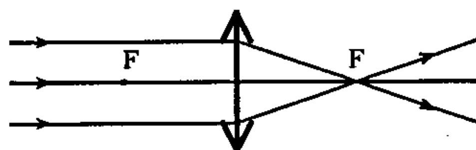
לעדשה ישנם שני מוקדים שווים וסימטריים. דרך מוקד ראשי עובר מישור המוקד וכל נקודה בו מהווה מוקד משנה.



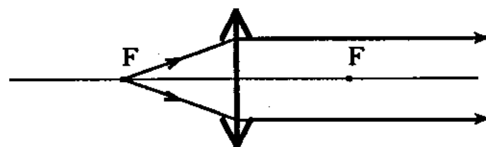
<u>מוקד העדשה</u> – זוהי נקודה שבה הקרניים נפגשות אחרי שבירה בעדשה, אשר פגעו בה באלומה מקבילה לציר אופטי ראשי.

<u>הגדלת הדמות</u> (כמו במראה): $H = \frac{I'}{I} = \left|\frac{v}{u}\right|$

.1 $u = \infty$
$v = f$

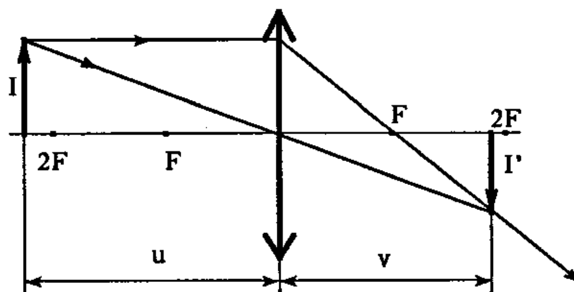


.2 $u = f$
$v = \infty$



.3 $u > 2f$

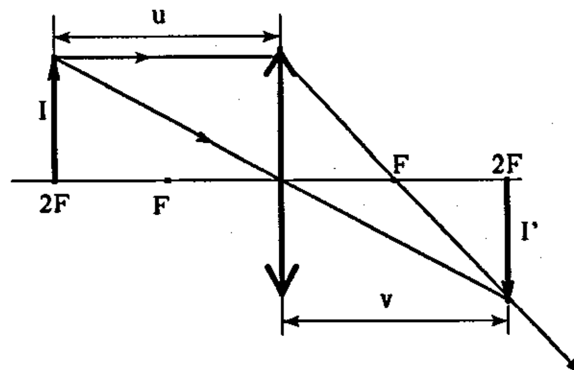
כמו במראה קעורה (ראה פרק "מראות"), בונים דמות בעזרת שתי קרניים:
א. קרן מקבילה לציר אופטי ראשי, היא נשברת דרך המוקד.
ב. קרן, העוברת דרך מרכז העדשה, לא נשברת, ממשיכה באותו מסלול.
מתקבלת <u>דמות ממשית, הפוכה ומוקטנת</u>. ($u > v$)



.4 $u = 2f$
<u>דמות ממשית,</u>
<u>הפוכה ושווה לעצם.</u>
($u = v$)

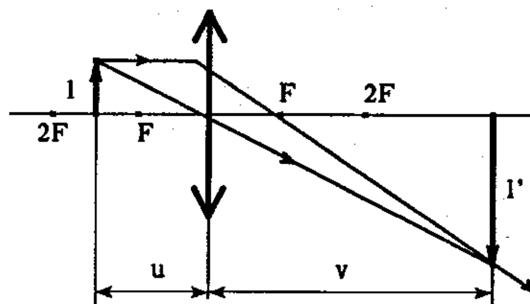
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2f} + \frac{1}{v}$$

מכאן $v = 2f$



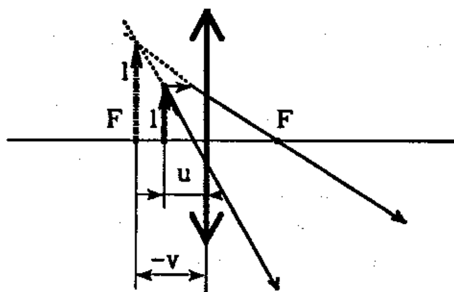
5. $f < u < 2f$

<u>דמות ממשית,</u>
<u>הפוכה ומוגדלת.</u>
($v > u$).



6. $u < f$

<u>דמות מדומה, ישרה</u>
<u>ומוגדלת.</u>
(v - שלילי)



<u>בניית הדמות בעדשה מפזרת</u>

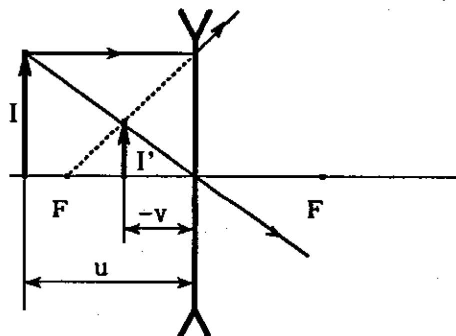
מרחק המוקד של עדשה מפזרת הוא שלילי. הדמות מתקבלת תמיד <u>מדומה, ישרה ומוקטנת.</u>

בונים את הדמות כמו במראה קמורה:

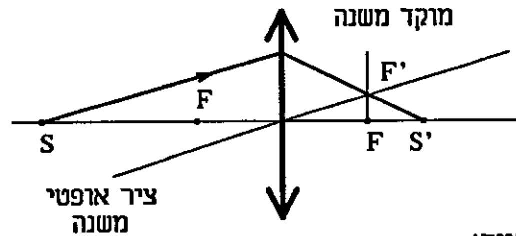
א. קרן פוגעת במקביל לציר אופטי ראשי, היא נשברת כאילו שהיא יצאה מהמוקד.

ב. קרן דרך מרכז העדשה לא נשברת.

מכיוון שהקרניים מתפזרות, אנו ממשיכים אותן אחורה ונוצרת דמות מדומה במפגש של המשכי הקרניים (v - שלילי).



בניית הדמות של העצם הנמצא על ציר אופטי ראשי



לבנייה משתמשים בשתי קרניים:

א. קרן מתפשטת לפי ציר אופטי ראשי, קרן זו אינה נשברת.

ב. קרן בכיוון כלשהו.

מעבירים דרך מרכז העדשה ציר אופטי משנה, המקביל לקרן השניה. נקודת החיתוך של ציר אופטי משנה עם מישור המוקד זוהי נקודת מוקד F'. קרן, אשר מקבילה לציר אופטי משנה, נשברת דרך מוקד משנה. מפגש של שתי הקרניים הנשברות בנקודה S' יוצר דמות.

בניית דמות במערכת העדשות

כאשר משתמשים במערכת עדשות, דמות אחרי כל עדשה מהווה עצם לעדשה הבאה. אם עדשות קרובות מאד וניתן להזניח את המרחקים ביניהן, מחשבים מוקד שקול של מערכת לפי עוצמת המערכת: $F_T = \sum_{1}^{i} F_i$

לשתי עדשות: $f_T = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2}$ $\quad \frac{1}{f_T} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ $\quad F_T = F_1 + F_2$

אם המרחקים בין העדשות אינם זניחים, מחשבים קרניים העוברות דרך כל עדשה בנפרד. לדוגמה:

נתונים:

$f_1 =$ 10 ס"מ

$f_2 =$ 20 ס"מ

$f_3 =$ ‎-10 ס"מ

$l_1 =$ 2 ס"מ

$u_1 =$ 30 ס"מ

$d_1 =$ 40 ס"מ

$d_2 =$ 120 ס"מ

$l'_3 = ?\quad H_T = ?\quad v_3 = ?$

פתרון:

$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1}$ $\quad v_1 =$ 15 ס"מ $\quad u_2 = d_1 - v_1 =$ 25 ס"מ

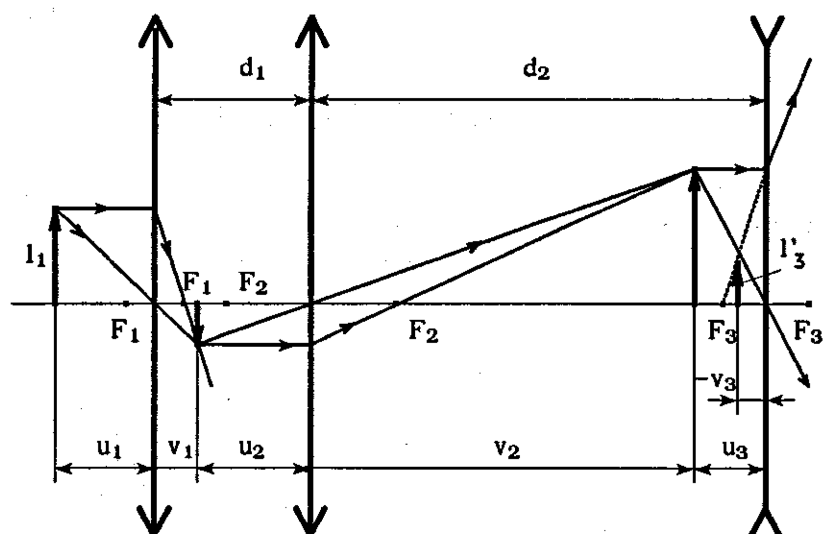
$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{20} - \frac{1}{25}$ $\quad v_2 =$ 100 ס"מ

$u_3 = d_2 - v_2 = 120 - 100 =$ 20 ס"מ

$\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f_3} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{-10} - \frac{1}{20}$ $\quad v_3 =$ ‎-6.7 ס"מ

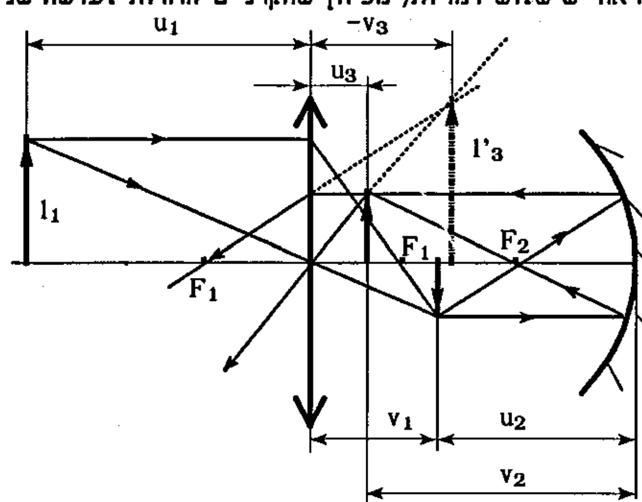
$H_T = \left|\frac{v_1 \cdot v_2 \cdot v_3}{u_1 \cdot u_2 \cdot u_3}\right| = 0.67$

$l'_3 = l_1 \cdot H_T = 2 \cdot 0.67 =$ 1.34 ס"מ



$f_1 = 10$ cm $\quad f_2 = 20$ cm $\qquad f_3 = -10$ cm

יש מערכות המשלבות עדשות ומראות. אחרי כל רכיב מחשבים דמות בנפרד.
במערכת עדשה עם מראה יש שלוש דמויות, מכיון שהקרניים חוזרות לעדשה שנית.



<u>נתונים:</u>

$u_1 =$ 80 ס"מ

$f_1 =$ 20 ס"מ

$f_2 =$ 30 ס"מ

$d =$ 80 ס"מ

$v_3 = ?$

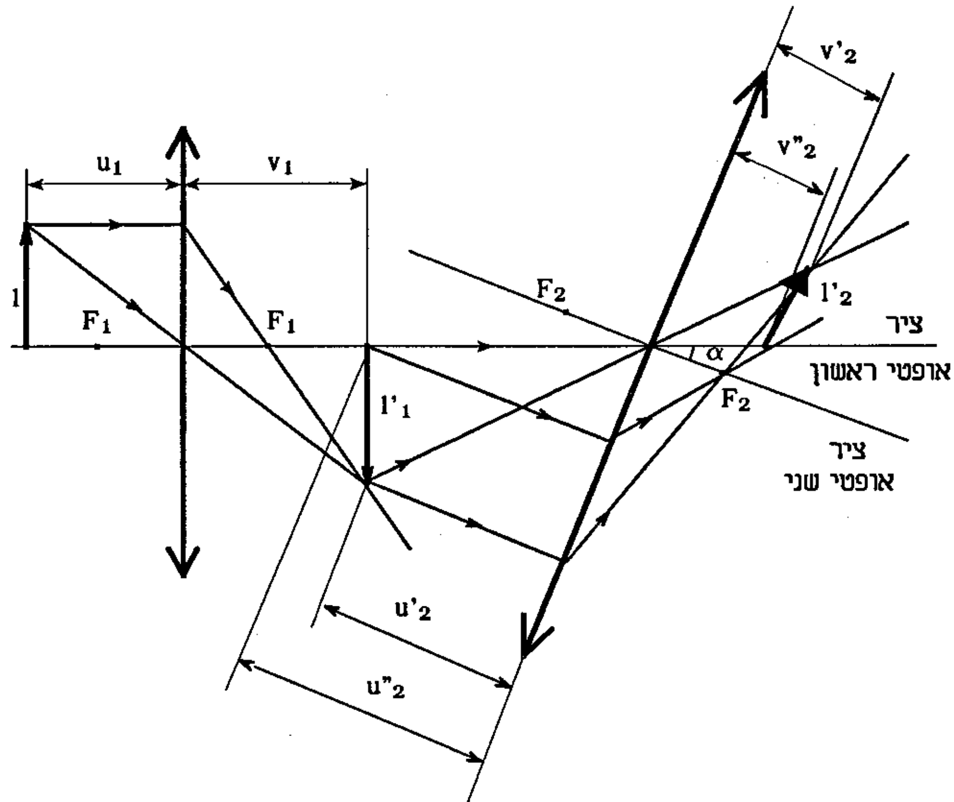
$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1}$$ $v_1 =$ 26.7 ס"מ $\qquad u_2 = d - v_1 =$ 53.3 ס"מ

$$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2}$$ $v_2 =$ 68.6 ס"מ $\qquad u_3 = d - v_2 =$ 11.4 ס"מ

$$\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_3} \qquad v_3 = -26.5 \text{ ס"מ}$$

מערכת עדשות עם צירים אופטיים שונים

את הדמות בעדשה ראשונה בונים באופן רגיל. כדי לבנות דמות בעדשה שניה, שולחים קרן מקבילה לציר אופטי שני, היא תישבר דרך המוקד השני. הקרן השניה פוגעת דרך מרכז העדשה השניה והיא עוברת בלי להישבר.



בעיות בעדשות

141. עדשה בעלת רדיוסים $R_1 = 20$ ס"מ ו $R_2 = 60$ ס"מ ומקדם שבירה של החומר העדשה הוא 1.41. מהי עוצמת העדשה ?

142. עדשה בעלת רדיוסים שווים ומקדם שבירה של החומר העדשה הוא 1.4067. מרחק המוקד של העדשה הוא 30 - ס"מ. מהם הרדיוסים של העדשה ?

143. עדשה בעלת רדיוסים $R_1 = 46$ ס"מ ו $R_2 = 22$ ס"מ ומקדם שבירה של חומר העדשה 1.38. האם העדשה מרכזת או מפזרת ? מהו מרחק המוקד שלה ?

144. עדשה בעלת רדיוסים $R_1 = 50$ ס"מ ו $R_2 = 30$ ס"מ ומרחק המוקד 160 ס"מ. חשב את מקדם השבירה של העדשה.

145. איך ישתנה מרחק המוקד של העדשה אם נכניס אותה למים ?

*146. עדשה שטוחה-קמורה, עשויה חומר בעל מקדם שבירה 1.5. רדיוס של שטח קמור הוא 25 ס"מ. חשב את עוצמת העדשה.

147. עדשה מרכזת שעוצמתה באויר 8D הוכנסה לתוך נוזל שבו היא פועלת כעדשה מפזרת בעלת מרחק המוקד 1 מ'. מקדם שבירה של העדשה לגבי אויר הוא 1.5. חשב מקדם שבירה של הנוזל.

148. עצם עומד לפני עדשה בעלת מרחק המוקד 80 ס"מ במרחק 95 ס"מ ממנה.
א. איפה נמצאת הדמות ?
ב. שרטט את מהלך הקרניים ותאפיין את הדמות.
ג. מהי ההגדלה ?

149. בעדשה בעלת מרחק המוקד 12 ס"מ מתקבלת דמות ממשית במרחק 60 ס"מ מהעדשה. גודל הדמות 3 ס"מ. מהו גודל העצם ?

150. בעדשה בעלת מרחק המוקד 50 ס"מ מתקבלת דמות שאורכה שווה לאורך העצם. איפה נמצא העצם ?

151. בעדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 40 ס"מ מתקבלת הגדלה $H = 4$. מהו המרחק מהדמות לעדשה ?

152. כדי לקבל תמונה של עצם על מסך משתמשים בעדשה בעלת מרחק המוקד 24 ס"מ.המרחק בין העצם למסך הוא 100 ס"מ. איפה נמצאת העדשה לגבי המסך ?

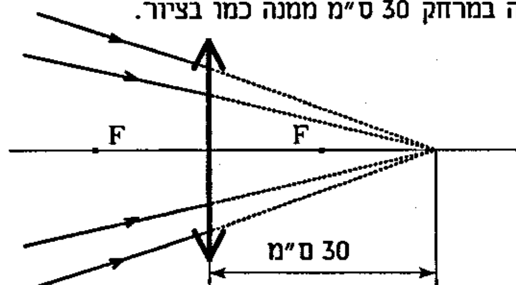
153. עצם נמצא במרחק 10 ס"מ מעדשה מרכזת ומתקבלת דמות מדומה במרחק 20 ס"מ מהעדשה. מהו מרחק המוקד של העדשה ומהי ההגדלה ?

154. באיזה מרחק מעדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 60 ס"מ יש לשים עצם, כדי לקבל דמות ממשית ומוגדלת פי 2 ? שרטט את מהלך הקרניים.

155. באיזה מרחק מעדשה מרכזת יש לשים גוף שגובהו 3 ס"מ, כדי לקבל דמות על המסך בגובה 12 ס"מ ? מרחק המוקד של העדשה הוא 20 ס"מ.

156. בעזרת עדשה בעלת עוצמה 4D מקבלים הגדלה פי 5. באיזה מרחק מהעדשה יש למקם מסך ?

157. אלומה מרכזת פוגעת בעדשה בעלת עוצמה 4D. המשכי הקרניים של האלומה נפגשים אחרי עדשה במרחק 30 ס"מ ממנה כמו בציור.



באיזה מרחק מהעדשה ייפגשו הקרניים אחרי שבירה בעדשה ? צייר את מהלך הקרניים ליצירת הדמות.

158. מהו מרחק המוקד של עדשה מרכזת אם מהעצם, הנמצא במרחק 25 ס"מ מהעדשה, נוצרת דמות שווה לו באורכה ?

159. אדם נמצא במרחק 81 ס"מ מהמסך. באיזה מרחק ממנו יש לשים עדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 20 ס"מ כדי שעל המסך תתקבל דמות ברורה של האדם ?

160. נר נמצא במרחק 100 ס"מ מהמסך. עדשה מרכזת יוצרת דמות של הנר בשני מצבים שההפרש ביניהם 20 ס"מ. מהו מרחק המוקד של העדשה ?

161. המרחק בין עצם ובין מסך הוא 60 ס"מ. מניחים עדשה מרכזת ביניהם ומקבלים דמות על המסך מוגדלת פי 3. מזיזים את העדשה ושוב מקבלים דמות על המסך.
א. מהי ההגדלה במצב השני ?
ב. מהו המרחק בין שני מצבי העדשה ?

162. עצם מואר נמצא במרחק 90 ס"מ מהמסך. ביניהם מזיזים עדשה מרכזת. בשני מצבים של העדשה מקבלים דמות על המסך: פעם אחת – מוגדלת, פעם שניה – מוקטנת. אורך הדמות בפעם הראשונה הוא פי 4 מאורך הדמות בפעם השניה. מהו מרחק המוקד של העדשה ?

163. עצם שוכב על ציר אופטי של עדשה מרכזת במקביל לציר כך שקצהו האחד מרוחק מהעדשה במרחק 17.9 ס"מ וקצהו השני מרוחק ממנה במרחק 18.1 ס"מ. מרחק המוקד של העדשה הוא 12 ס"מ. מהי ההגדלה הרחבית ?

164. מסך נמצא במרחק 4 מ' מעדשה מרכזת בעלת עוצמה 5D ועל המסך מתקבלת דמות ברורה. מזיזים את המסך במרחק 20 ס"מ מהמראה. בכמה יש להזיז את העצם, כדי שנקבל דמות על המסך שוב ?

165. עצם נמצא במרחק 20 ס"מ מעדשה מרכזת בעלת עוצמה 8D. בכמה ס"מ תזוז התמונה, אם יעבירו את העצם למרחק 6 ס"מ מן העדשה ? צייר את מהלך הקרניים בשני המצבים.

166. עוצמתה של עדשה מרכזת היא 8D. לפניה נמצא גוף מאיר ומתקבלת דמות מוגדלת פי 3. באיזה מרחק מן העדשה נמצא הגוף אם הדמות:

א. ממשית.

ב. מדומה.

ג. שרטט את מהלך הקרניים בכל אחד מהמקרים.

167. דמותו הישרה של העצם, הנמצא במרחק 25 ס"מ מן העדשה, נוצרת במרחק 1.5 מ' ממנה.

א. מהו מרחק המוקד של העדשה ?

ב. האם זאת עדשה מרכזת או מפזרת ?

168. עצם שגובהו 1 ס"מ נמצא לפני עדשה מרכזת במרחק 8 ס"מ ממנה. קוטר העדשה 8 ס"מ ומרחק המוקד 3 ס"מ.

א. חשב את הגדלת הדמות.

ב. שרטט את מהלך הקרניים.

ג. שרטט את מהלך הקרן היוצאת מראש העצם ופוגעת בעדשה בקצה העליון.

169. דמותו הישרה של העצם, הנמצא במרחק 20 ס"מ מן העדשה, נוצרת במרחק 12 ס"מ ממנה.

א. מהו מרחק מוקד העדשה ?

ב. מהי ההגדלה ?

ג. איזו עדשה זאת: מרכזת או מפזרת ?

170. מרחק המוקד של עדשה מפזרת הוא 12 ס"מ. חשב את המרחק בין הדמות ובין העדשה אם העצם נמצא במרחק 28 ס"מ ממנה. שרטט את המהלך הקרניים. מהי ההגדלה ?

171. בעדשה מפזרת בעלת עוצמה 4D− מתקבלת דמות במרחק 4 ס"מ מן העדשה.

א. איפה נמצא העצם ?

ב. מהי ההגדלה ?

172. עצם עומד במרחק 40 ס"מ מן העדשה ודמותו הישרה מתקבלת במרחק 18 ס"מ מן העדשה.

א. האם העדשה מרכזת או מפזרת ?

ב. מהו מרחק המוקד שלה ?

173. אורך הנר 2 ס"מ והוא עומד במרחק 10 ס"מ מעדשה מפזרת. דמותו מתקבלת במרחק 6 ס"מ מן העדשה. מהו אורך הדמות ?

174. מרחק המוקד של עדשה מפזרת הוא 12 ס"מ והגדלה מתקבלת $H = 0.4$. איפה נמצא העצם ואיפה הדמות לגבי העדשה ? שרטט את מהלך הקרניים.

175. משטח אחד של העדשה הוא בעל רדיוס R ומשטח השני הוא מישורי. דמותו של העצם, הנמצא באינסוף, נוצרת במרחק 80 ס"מ ממנה בצד השני של העדשה.

א. האם העדשה היא מרכזת או מפזרת ?

ב. מהו מרחק המוקד שלה ?

ג. שרטט את מהלך הקרניים.

ד. חשב את רדיוס R של העדשה אם מקדם השבירה שלה הוא 1.5.

176. אוביקטיב של מצלמה מורכב משלוש עדשות: $f_1 =$ 12.5 ס"מ, $f_2 =$ 10− ס"מ,

$f_3 =$ 5 ס"מ. חשב את מרחק המוקד של האוביקטיב.

177. אוביקטיב בנוי שלוש עדשות: אחת מרכזת בעלת מרחק המוקד 12 ס"מ, שניה גם מרכזת בעלת מרחק המוקד 15 ס"מ. איזו עדשה צריכה להיות שלישית, כדי שעוצמת האוביקטיב תהיה 10D ?

178. עצם נמצא במרחק 3 ס"מ מעדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 2 ס"מ. אחריה נמצאת עדשה שניה גם היא מרכזת בעלת מרחק המוקד 3 ס"מ והיא מרוחקת מהעדשה הראשונה במרחק 10 ס"מ.

א. איפה נמצאת הדמות הסופית ?

ב. מהי ההגדלה ?

ג. שרטט את מהלך הקרניים.

179. מרכיבים על ספסל אופטי שתי עדשות מרכזות: $f_1 =$ 12 ס"מ, $f_2 =$ 15 ס"מ. המרחק ביניהן 36 ס"מ. מניחים עצם במרחק 48 ס"מ מן העדשה הראשונה.

א. באיזה מרחק מן העדשה השניה נמצאת הדמות הסופית ?

ב. מהי ההגדלה ?

ג. שרטט את מהלך הקרניים.

180. על ספסל אופטי נמצאות שתי עדשות מרכזות: $f_1 =$ 20 ס"מ, $f_2 =$ 15 ס"מ במרחק 70 ס"מ זו מזו. לפני עדשה ראשונה נמצא עצם במרחק 30 ס"מ ממנה.

א. איפה נמצאת הדמות הסופית לגבי העדשה השניה ?

ב. מהי ההגדלה ?

ג. שרטט את מהלך הקרניים.

181. לפני עדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 10 ס"מ נמצא עצם במרחק 7 ס"מ ממנה. בצד שני של העדשה נמצאת עדשה שניה גם היא מרכזת, בעלת מרחק המוקד 30 ס"מ. המרחק בין שתי העדשות הוא 50 ס"מ. איפה יש לקבוע מסך, כדי לראות את הדמות הסופית ? שרטט את מהלך הקרניים.

182. עצם נמצא במרחק 20 ס"מ מעדשה ראשונה בעלת מרחק המוקד 10 ס"מ. עדשה שניה בעלת מרחק המוקד 12.5 ס"מ נמצאת במרחק 30 ס"מ מהעדשה הראשונה. חשב את מיקום הדמות הסופית ואת הגדלתה. שרטט את מהלך הקרניים.

183. שלוש עדשות מרכזות נמצאות על ספסל אופטי: $f_1 =$ 10 ס"מ, $f_2 =$ 20 ס"מ, $f_3 =$ 10 ס"מ. המרחק בין עדשה ראשונה ובין שניה הוא $d_1 =$ 25 ס"מ והמרחק בין עדשה שניה ובין שלישית הוא $d_2 =$ 20 ס"מ. עצם נמצא במרחק 15 ס"מ מהעדשה הראשונה. חשב את המרחק בין הדמות הסופית ובין העדשה השלישית. שרטט את מהלך הקרניים.

184. אוביקטיב בנוי שתי עדשות: $f_1 =$ 15 ס"מ, $f_2 =$ 30 ס"מ במרחק 20 ס"מ זו מזו. עצם נמצא במרחק 25 ס"מ לפני האוביקטיב.

א. איפה נמצאת הדמות הסופית ?

ב. מהי ההגדלה של האוביקטיב ?

ג. שרטט את מהלך הקרניים.

ד. תאפיין את הדמות הסופית.

185. שתי עדשות מרכזות f_1 = 20 ס"מ, f_2 = 30 ס"מ המרוחקות 40 ס"מ זו מזו, יוצרות דמות במרחק 60 ס"מ מהעדשה השניה. איפה נמצא העצם ?

186. שלוש עדשות מרכזות: f_1 = 10 ס"מ, f_2 = 30 ס"מ, f_3 = 25 ס"מ נמצאות במרחקים 40 ס"מ בין ראשונה ובין שניה ו 30 ס"מ בין שניה ובין שלישית. העדשות יוצרות דמות סופית במרחק 50 ס"מ מהעדשה השלישית. איפה נמצא העצם ?

187. עדשה מפזרת בעלת מרחק המוקד 12 ס"מ יוצרת דמות מהעצם הנמצא במרחק 25 ס"מ ממנה.

א. מהו אופי הדמות ?

ב. איפה נמצאת הדמות ?

ג. מהי הגדלתה ?

ד. שרטט את מהלך הקרניים.

188. עדשה מפזרת בעלת מרחק המוקד 18 ס"מ יוצרת דמות במרחק 30 ס"מ ממנה.

א. איפה נמצא העצם ?

ב. האם ניתן לראות את הדמות על המסך ?

189. מרחק המוקד של עדשה מפזרת הוא 8 ס"מ ועצם נמצא במרחק 8 ס"מ ממנה. חשב את מיקום הדמות הן על-ידי שרטוט והן על-ידי חישוב.

190. מרחק המוקד של עדשה מפזרת הוא 5 ס"מ.

א. בת כמה דיאופטריות עדשה זו ?

ב. באיזה מרחק מן העדשה יש להעמיד עצם על מנת שדמותו תהיה קטנה ממנו פי 3 ?

191. דמותו של העצם הנמצא במרחק רב מן העדשה מתקבלת במרחק 80 ס"מ ממנה באותו צד של העצם.

א. קבע איזו עדשה זו: מרכזת או מפזרת.

ב. חשב את מרחק המוקד שלה.

192. אוביקטיב בנוי שלוש עדשות: f_1 = 18 ס"מ, f_2 = 8 ס"מ, f_3 = -12 ס"מ. חשב את מרחק המוקד של האוביקטיב.

193. עצם רחוק ב 35 ס"מ מעדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 20 ס"מ. בצד שני של העדשה במרחק 38 ס"מ ממנה נמצאת עדשה מפזרת בעלת מרחק המוקד 12- ס"מ.

א. איפה מתקבלת הדמות הסופית ?

ב. מהי הגדלתה ?

194. שלוש עדשות בעלות מרחקי המוקד בהתאם: f_1 = 10 ס"מ, f_2 = -20 ס"מ, f_3 = 9 ס"מ. מרחק בין עדשה ראשונה לשניה הוא 15 ס"מ, ובין עדשה שניה לשלישית הוא 5 ס"מ. אלומה מקבילה לציר אופטי ראשי פוגעת בעדשה ראשונה. איפה יתרכזו קרני האלומה אחרי כל המערכת ?

195. עדשה מרכזת ומראה קמורה מרוחקות ב 40 ס"מ זו מזו, כך שציר אופטי ראשי שלהן משותף. מרחק המוקד של העדשה הוא 12 ס"מ ורדיוס המראה הוא 40

ס"מ. הקרניים, המקבילות לציר אופטי ראשי, פוגעות בעדשה. באיזה מרחק מהעדשה הן יתרכזו ? שרטט את מהלך הקרניים.

196. עדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 20 ס"מ נמצאת במרחק 50 ס"מ ממראה קעורה בעלת רדיוס 28 ס"מ. לפני עדשה במרחק 30 ס"מ ממנה נמצא גוף מאיר בגובה 2 ס"מ. איפה נמצאת דמותו ומהו גובהה ? שרטט את מהלך הקרניים.

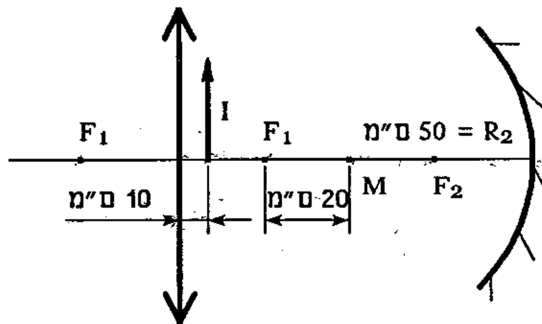
197. עצם בגובה 10 ס"מ נמצא במרחק 15 ס"מ מעדשה מפזרת. העדשה עשויה זכוכית בעלת מקדם שבירה 1.5 ושני רדיוסים של העדשה הם 30 ס"מ כל אחד. במרחק 30 ס"מ מן העדשה בצד שני נמצאת מראה קעורה עשויה מכדור בקוטר 2.4 מ'.

א. חשב את גובה הדמות.
ב. אפיין את הדמות.
ג. שרטט מהלך הקרניים כדי לקבל דמות סופית.

198. עדשה ( ) בעלת רדיוסים: R_1 = 50 ס"מ, R_2 = 25 ס"מ ומקדם שבירה 1.5.

א. ללא חישוב, קבע אם העדשה מרכזת או מפזרת.
ב. חשב את מרחק המוקד שלה ועוצמתה.
ג. מצמידים לעדשה זו עדשה מרכזת שניה בעלת עוצמה 4D. חשב את מרחק המוקד של מערכת העדשות ועוצמתה. האם המערכת מרכזת או מפזרת ?

199. נתונה מערכת:



עצם שגובהו 20 ס"מ עומד בין מראה קעורה ובין עדשה מרכזת שרוחק המוקד שלה 30 ס"מ. מיקום של כל הרכיבים נתון בציור.

א. בנה שתי דמויות המתקבלות וציין את אופיין.
ב. חשב את מיקום של כל דמות ואת גודלה.

200. עדשה מרכזת בעלת מוקד 20 ס"מ מרוחקת ב 80 ס"מ ממראה מישורית. בצד השני של העדשה נמצא עצם במרחק 30 ס"מ ממנה. איזו דמות מתקבלת במערכת זאת ואיפה היא נמצאת ?

201. מראה קעורה ועדשה מרכזת נמצאות במערכת כך שהמוקד הראשי שלהן מתלכד. מרחק המוקד של המראה הוא 5 ס"מ ועוצמתה של העדשה היא $3\frac{1}{3}$ D. עצם

שגובהו 1 ס"מ נמצא ביניהן במרחק 6 ס"מ מהמראה.

א. שרטט את מהלך הקרניים לקבלת דמות סופית.

ב. חשב את מיקום של כל הדמויות.

ג. חשב את גודל הדמויות.

202. שתי עדשות - מרכזת ומפזרת - נמצאות במרחק כזה זו מזו שאלומת הקרניים המקבילות אשר פוגעת בעדשה מרכזת, יוצאת מקבילה אחרי עדשה מפזרת. מרחקי המוקד של העדשות הם: 40 ס"מ = f_1, 15- ס"מ = f_2. מהו המרחק ביניהן ?

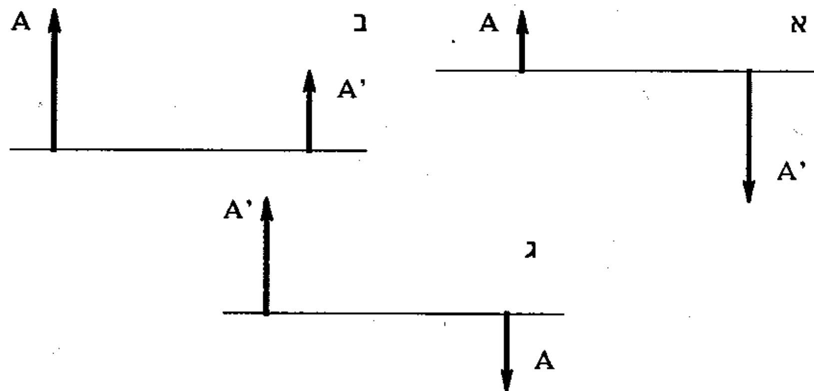
203. נתונים עצם ודמותו בצורה גרפית.

א. מצא באופן גרפי את העדשה ואת המוקדים שלה.

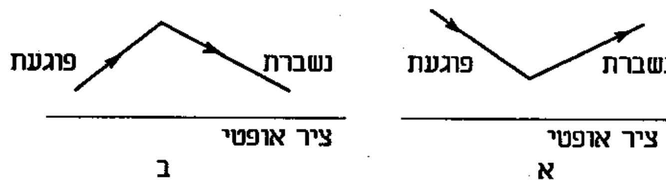
ב. איזו עדשה זו - מרכזת או מפזרת ?



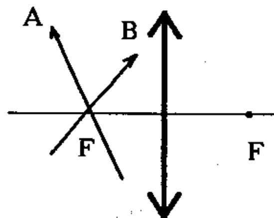
204. לפי מיקום של עצם ודמות מצא באופן גרפי את העדשה ואת המוקדים שלה.



205. נתונות שתי קרניים פוגעת ונשברת. לפיהן מצא באופן גרפי את העדשה ואת המוקדים שלה.



206. בנה דמות של חיצים A ו B.



207 מקור אור נמצא במרחק 90 ס"מ ממסך. עדשה מרכזת יוצרת דמות של מקור אור

על המסך בשני מצבים שמרחק ביניהם הוא 30 ס"מ. חשב את מרחק המוקד של העדשה.

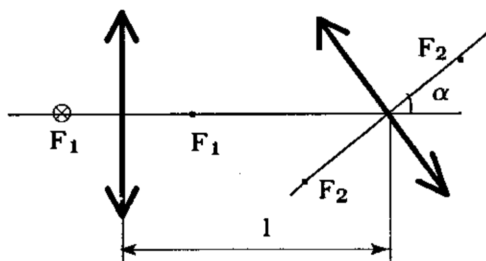
208. קטע בעל אורך l נמצא במקביל וגם מתלכד עם ציר אופטי של עדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד f. אמצע הקטע נמצא במרחק a מהעדשה. חשב את הגדלת הדמות של הקטע.

209. במרחק המוקד f מעדשה מרכזת נמצאת מראה מישורית. עצם נמצא במרחק a מהעדשה בצד השני שלה. איפה תהיה דמות ?

210. שתי עדשות מרכזות בעלות מרחקי מוקד שווים – 30 ס"מ כל אחת – נמצאות במרחק 15 ס"מ זו מזו. חשב באילו מצבי העצם מתקבלת דמות ממשית.

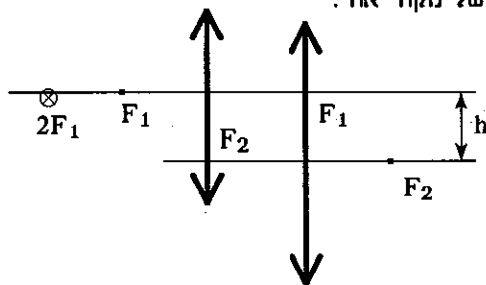
211. עדשה מרכזת עשויה זכוכית $(n = 1.5)$ ומרחק מוקד שלה 20 ס"מ. לוקחים עדשה חלולה, בתוכה אויר ודפנותיה דקות מאד. רדיוסים של שתי העדשות זהים. את העדשה החלולה מכניסים לתוך מים. מהו מרחק המוקד של העדשה החלולה בתוך המים ?

212. שתי עדשות בעלות מרחק המוקד f כל אחת נמצאות במרחק l זו מזו, כך שמרכזי העדשות נמצאים באותו ציר, אבל ציר אופטי ראשי של עדשה שניה נמצא בזוית α לגבי ציר אופטי ראשי של עדשה ראשונה.



במוקד של עדשה ראשונה נמצא מקור אור. חשב איפה נמצאת דמותו ומהו המרחק בין מקור אור ובין דמותו.

213. שתי עדשות בעלות מרחק המוקד f כל אחת נמצאות במרחק f זו מזו, כך שציר אופטי של עדשה ראשונה מרוחק במרחק h מציר אופטי של עדשה שניה ומקביל לו. מקור אור נמצא במרחק 2f מעדשה ראשונה על ציר אופטי שלה. שרטט איפה מתקבלת דמות של מקור אור.



214. עצם נמצא במרחק 12 ס"מ מעדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 4 ס"מ במרחק h מעל ציר אופטי שלה. מזיזים את העדשה למטה ב 3 ס"מ. בכמה תזוז הדמות ?

3.3 מנסרות

מנסרה (פריסמה) עשויה בצורת פירמידה משולשת או בצורת טרפז. ישנם סוגים שונים של מנסרות בהתאם לשני תפקידים שהן ממלאות:

1. להפנות אלומת הקרניים בזוית מסוימת (90^o, 180^o).
2. לפצל אלומת האור לצבעים – ספקטרום.

א. מנסרה 90^o

אלומה פוגעת ב 45^o. זוית קריטית של זכוכית בערך 42^o ($i_c = \frac{1}{1.5}$), כלומר מנסרה פועלת על עקרון החזרה גמורה ולא נדרש ציפוי להחזרה. (ראה ציור בעמ' 20)

יתרונות של מנסרה 90^o לפני מראה:

1. קלה יותר להרכבה.
2. עמידה לתנודות ומכות.
3. תזוזת המראה בזוית α גורמת לתזוזת הקרן המוחזרת ב 2α,במנסרה אין שגיאה זו.
4. במראה ישנו ציפוי להחזרה אשר בולע חלק מאנרגית האור, במנסרה אין ציפוי.

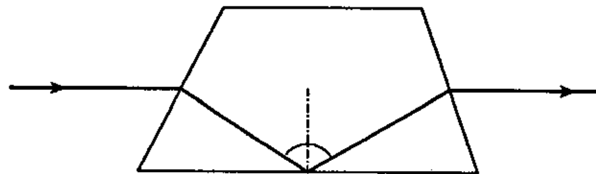
במנסרה 90^o משתמשים בפריסקופ. (ראה ציור בעמ' 20).

ב. מנסרה דובה (Dove)

תפקידיה:

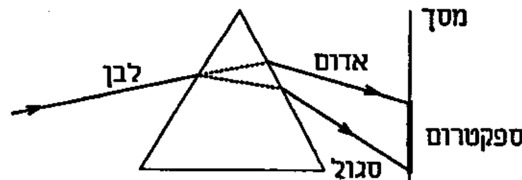
1. להפוך את הדמות (בהחזרה הדמות מתהפכת).
2. להאריך את הדרך האופטית בנפח קטן.

גם מנסרה זו עובדת על עקרון של החזרה גמורה ואין צורך בציפוי.



ג. מנסרה 60^o

במנסרה 60^o מתרחשות שתי שבירות של קרניים. מקדם השבירה לכל צבע הוא שונה מפני שהוא תלוי במהירות האור בסביבה, ולכל צבע מהירות ההתפשטות בסביבה נתונה היא שונה. אורך גל של צבע אדום הוא מירבי בתחום של אור נראה, ז"א מהירות ההתפשטות שלו מירבית ($v = \lambda \cdot f$). מכאן מקדם השבירה של אדום הוא קטן ביותר $n = \frac{c}{v}$.

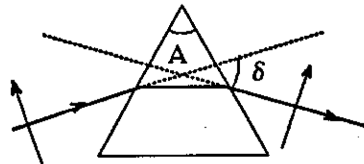


מצב של סטייה מינימלית

זוית δ בין הקרן הפוגעת ובין הקרן היוצאת ממנסרה היא זוית הסטייה. מתברר שישנו מצב של סטייה מינימלית (δ min). כדי להגיע למצב זה, נזיז את הקרן הפוגעת, והקרן היוצאת תזוז בהתאם. אחרי מצב מסוים הקרן היוצאת מתחילה לחזור למרות שהקרן הפוגעת ממשיכה באותו כיוון. מצב הסף לפני שהקרן היוצאת מתחילה לחזור, נקרא מצב של סטייה מינימלית. זוית δ היא הקטנה ביותר האפשרית לגבי מנסרה בעלת זוית ראש A ומקדם שבירה n. במצב של סטייה מינימלית מתקיים תנאי:

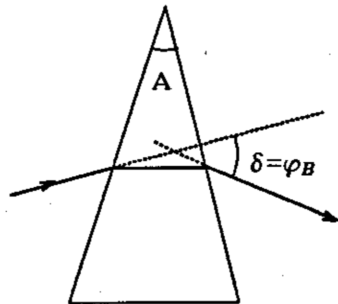
$$n = \frac{\sin\frac{A+\delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

בשיטה זו מודדים את מקדמי השבירה של מנסרות.



ד. מנסרת ברוסטר

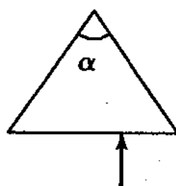
זוית ראש A של המנסרה נבחרת כך שלאורך גל מסוים λ במצב של סטייה מינימלית הקרן הפוגעת והקרן היוצאת נמצאות בזוית ברוסטר (ראה פרק "קיטוב"), לכן אם הקרניים מקוטבות, העברה היא 100%. תופעה זו חשובה מאד בלייזר בגלל הנצילות הנמוכה.



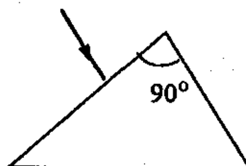
<u>בעיות במנסרות</u>

215. אלומת אור לבן פוגעת במנסרה 60^o במרחק 10 ס"מ מראשה וזוית הפגיעה היא 50^o. מה יהיה רוחק הספקטרום בדופן השניה, אם מקדם שבירה לאור סגול במנסרה הוא 1.4842 ומקדם שבירה לאור אדום הוא 1.4107 ?

216. אלומה פוגעת בבסיס המנסרה שוות שוקיים במאונך לבסיס. זוית הראש של המנסרה היא: א. 60^o ב. 30^o. חשב את זוית הסטייה של האלומה היוצאת לעומת האלומה הפוגעת. מקדם השבירה של המנסרה הוא 1.5.



217. מנסרה 90^o שקועה בנוזל בעל מקדם שבירה 1.38. מהו מקדם השבירה המינימלי של המנסרה אם הקרן הפוגעת במאונך בדופן אחת תוחזר בהחזרה גמורה מהבסיס ?

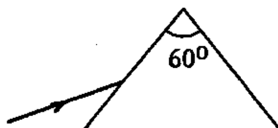


218. זוית הראש של מנסרה משולשת היא 40^o. זוית הסטייה המינימלית היא 26^o. מהו מקדם השבירה של המנסרה ?

219. זוית הראש של מנסרה משולשת היא 60^o. מקדם השבירה הוא 1.85. מהי זוית של סטייה מינימלית ?

220. מקדם שבירה של המנסרה הוא 1.58. במצב של סטייה מינימלית זוית הסטייה היא 40^o. מהי זוית הראש של המנסרה ?

221. קרן פוגעת בזוית 35^o במנסרה 60^o. מהי זוית סטיית הקרן, אם מקדם השבירה של המנסרה הוא 1.5 ? בדוק האם זוית סטייה זו מתאימה למצב של סטייה מינימלית.



222. קרן אור נכנסת למנסרה בזוית 30^o ויוצאת ממנה בזוית 60^o. מהי זוית הראש של המנסרה, אם מקדם השבירה שלה הוא 1.5 ?

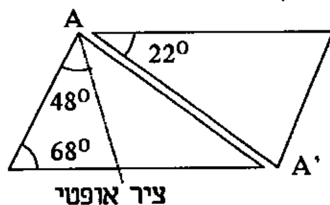
223. קרן פוגעת במנסרה בזוית α ויוצאת ממנה באותה זוית. זוית הראש של המנסרה היא 45^o. זוית הסטייה של הקרן היא 15^o. חשב את מקדם השבירה של המנסרה.

3.4 מקטבים, פילטרים, דיאפרגמות,מפצלי אור

מקטבים מיועדים לקיטוב האור (פרק "קיטוב"). בד"כ הם עשוים מחומרים טבעיים, גבישים.

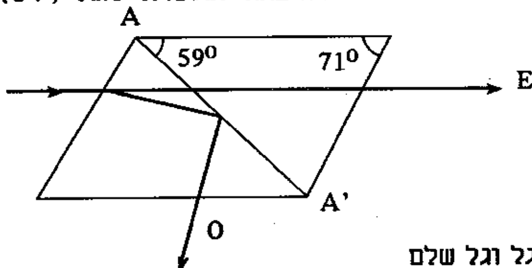
1. פריזמת ניקול

מקטב זה עשוי קלציט. בקו AA' חותכים את הפריזמה ומדביקים שוב עם בָּלְזָם קָנָדִי ($n = 1.55$). מקדם השבירה שלו נמצא בין מקדם שבירה של קרן רגילה n_o ובין מקדם שבירה של קרן חריגה n_e. בזוית פגיעה מתאימה, קרן רגילה מוחזרת בהחזרה גמורה מהבלזם, וקרן חריגה יוצאת מקוטבת. משתמשים בשתי פריזמות ניקול כמקטב וכמפענח (Polarizer and Analyzer).



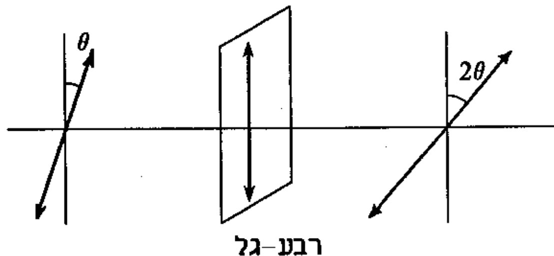
2. פריזמה פוקו

דומה לפריזמה ניקול אך קצרה יותר לכן פשוטה וזולה יותר. בחתך AA' נמצא אויר במקום בלזם קנדי, זה מאפשר להשתמש במנסרה באור אולטרא-סגול (UV).

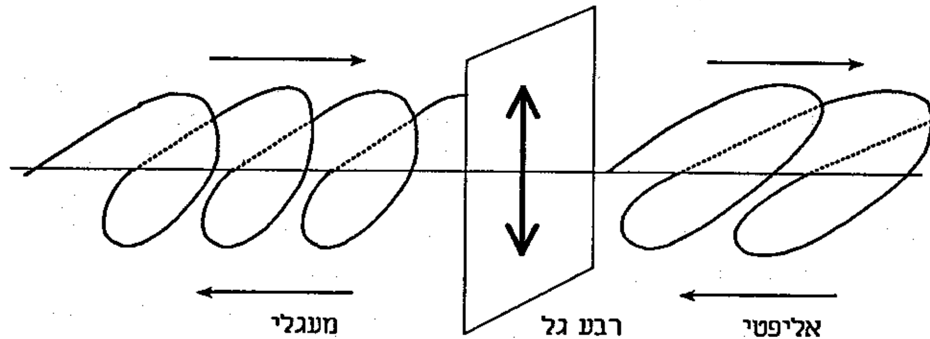


3. לוחיות רבע-גל, חצי-גל וגל שלם

לוחית רבע-גל, עשויה גביש, היא בין הלוחיות השימושית ביותר. כאשר קרן עוברת דרכה, היא מתפצלת לשתי קרניים: רגילה וחריגה. מהירותן שונה ונוצר הפרש מופע ביציאה בין שתי הקרניים. אם הפרש מופע הוא 90° (רבע זמן מחזור), לוחית נקראת לוחית רבע-גל. אם הפרש מופע 180° (חצי זמן מחזור), זוהי לוחית חצי-גל. אם האור הפוגע בלוחית מקוטב במישור הנמצא בזוית θ לגבי מישור קיטוב הלוחית, אז הלוחית מסובבת את מישור הקיטוב שלו כך שנוצרת זוית 2θ בין מישור קיטוב האור ובין מישור קיטוב הלוחית.



ניתן לשנות את סוג הקיטוב בעזרת לוחית רבע-גל. אם האור הפוגע מקוטב בקיטוב מעגלי, אחרי לוחית הוא יהיה מקוטב בקיטוב אליפטי ולהפך. ניתן גם לשנות קיטוב קוי לאליפטי ולהפך.



<u>פילטרים מתחלקים לפי תפקידיהם:</u>

1. <u>פילטר חום</u>

הוא עשוי חומר הבולע אור אינפרא-אדום (IR) שזוהי קרינת חום. יתר הקרניים עוברות דרכו. משתמשים בפילטר חום במערכות הארה, כדי להגן על רכיבים אופטיים או אלקטרוניים מפני חימום יתר של מקור אור.

2.<u>פילטרים צבעוניים</u>

הם מעבירים אור בעל אורך גל מסוים λ, ובולעים אורכי גל אחרים. משתמשים בפילטר צבעוני במערכות שונות ליצירת אור מונוכרומטי(חד-צבעי).

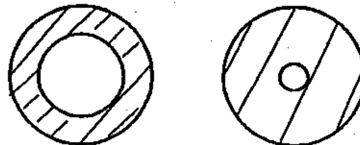
3.<u>פילטר התאבכות</u>

פילטר זה בנוי שכבות רבות. כאשר אור פוגע בפילטר, הוא מוחזר ונשבר בשכבות הפילטר ונוצרת התאבכות בין קרניים עוברות ומוחזרות. כמו בשריג אופטי כל הצבעים נפרדים, מתקבל ספקטרום, לכן פילטרים אלה שימושיים בספקטרופוטומטריה.

<u>דיאפרגמות (צמצמים)</u>

1.<u>דיאפרגמה עגולה, חד-פעמית</u>

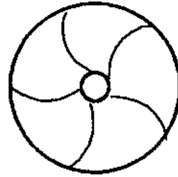
תפקידה של דיאפרגמה להגביל את קוטר האלומה כדי שהדמות תהיה ברורה יותר. לכל קוטר ישנה דיאפרגמה אחרת, בעלת קוטר מדויק מאד.



2. <u>דיאפרגמה איריס</u>

דיאפרגמה זו בנויה עלים נפרדים, אשר יכולים להתקפל ועל ידי כך ניתן לשנות את קוטרה. היא שימושית במצלמות. מספר העלים בד"כ 20. חיסרונה של דיאפרגמת

איריס בזה שהיא לא נסגרת עד הסוף, נשאר קוטר קטן.

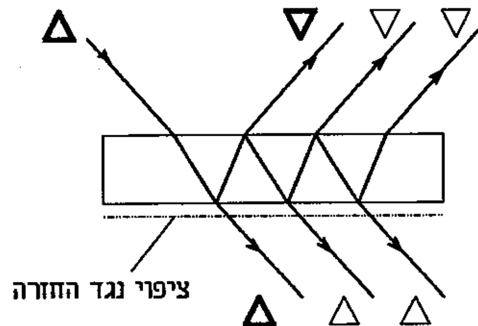


<u>מפצלי אור (Beamsplitters)</u>

תפקידם של מפצלי אור לפצל את האלומה לשתים. בד"כ זה דרוש ביצירת תמונת התאבכות. ישנם שלושה סוגי מפצלי אור:

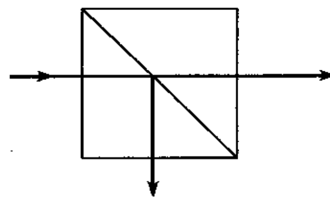
1. <u>מפצל שטוח</u>

הוא בנוי לוחית דקה (1 מ"מ) עם ציפוי נגד החזרה בצד אחד. כשמניחים מפצל אור שטוח בזוית 45° לאלומה, היא מתפצלת לשתי אלומות אור. חיסרון של מפצל שטוח: נוצרות דמויות נוספות.



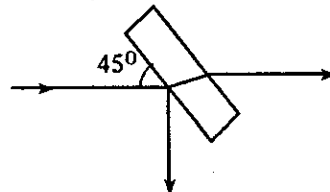
2.<u>מפצל קובי</u>

הוא בנוי שתי מנסרות 90° בעלות יתר משותף. מדביקים מנסרות בעזרת מלט. מפצל קובי חזק יותר, אין בו הרבה דמויות, עובד בתחום רחב של זויות הפגיעה.



3.<u>ממברנה</u>

זהו מפצל אור כמו מפצל שטוח אבל עוביו דקיק (עד 5 μm). אין בו הרבה דמויות, בליעה נמוכה, אך מפצל זה עדין מדי ומושפע משינוים אקוסטיים ומתנודות.



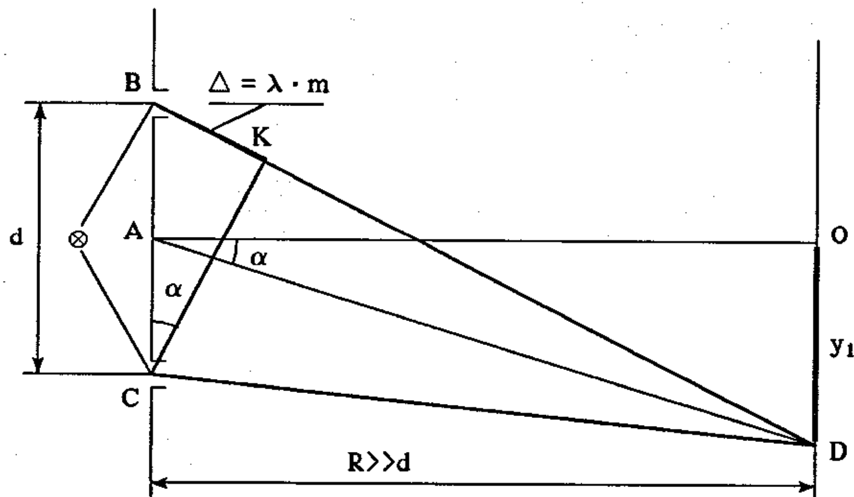
3.5 שריג אופטי

לקבלת תמונות התאבכות משתמשים בשריג אופטי - זוהי לוחית שקופה ועליה נמצא מספר גדול של קוים בצפיפות גבוהה (לדוגמה, 800 קוים/ מ"מ). מרחק בין שני

קוים סמוכים ניתן לחשב: $d = \frac{1}{N}$ $\frac{1}{800}$ מ"מ $= 1.25\ \mu m$

מרחק זה הינו בסדר גודל של אורך גל ולכן אור, העובר דרך השריג, יוצר תמונת התאבכות על המסך.

הקרניים היוצאות מאותו מקור אור הן קוהרנטיות, (עמ' 28) כי הפרש המופע ביניהן קבוע. לא ניתן לקבל אור קוהרנטי משני מקורות אור. מקור אור בעל קוהרנטיות גבוהה זהו לייזר.



קרניים ממקור אור אחד עוברות דרך סדקים של שריג, וכתוצאה מכך כל סדק מהווה מקור אור נפרד. הקרניים נפגשות על המסך ממספר מקורות אור (סדקים) והן קוהרנטיות מכיוון שיצאו מאותו מקור אור.

במרכז המסך תמיד מתקבל כתם אור, כי דרכי הקרניים, שמגיעות למרכז המסך, שוות (סימטריות), ולכן הן נפגשות בהפרש מופע אפס.

במרחק y_1 ממרכז המסך נמצאת נקודת האור הראשונה. כדי ליצור אותה, הפרש הדרכים בין הקרניים צריך להיות שווה λ - אורך גל. ליצירת נקודת האור השניה הפרש הדרכים בין הקרניים צריך להיות 2λ וכו'.

חשוב לדעת במה תלוי מרחק y_1, בהתאם ל y_1 נקבל תמונת התאבכות צפופה יותר או פחות. בתנאי ש $d \ll R$ זוית α קטנה מאד, לכן בקירוב סביר אפשר לקבל שאנך CK חותך קטעים שווים $CD = KD$. בתוך משולשים AOD ו BCK זויות α שוות (עם צלעות מאונכות). BK - זהו הפרש דרכים בין שתי קרניים אשר יוצרות את נקודת האור הראשונה, ולכן $BK = \lambda$. אם $BC = d$ - מרחק בין הסדקים - בקירוב מסוים

ניתן לרשום $m \cdot \lambda = d \cdot \sin\alpha$. ($m$ – זהו מספר של נקודת האור). $\sin\alpha = \frac{\lambda \cdot m}{d}$

במשולש AOD: $\sin\alpha \approx \tan\alpha = \frac{y_m}{R}$ (לגבי זויות קטנות).

$$m \cdot \lambda = d \cdot \frac{y_m}{R} \qquad \boxed{y_m = \frac{m \cdot \lambda \cdot R}{d}}$$

לפי נוסחה זו ניתן לראות מה משפיע על מרחקים בין נקודות האור. כאשר מקרינים על שריג אור לבן, הוא מתפצל לצבעים, המרכיבים אותו. מנוסחה של $y = f(\lambda)$ רואים שמרחק y נמצא ביחס ישר לאורך גל λ, ז"א לכל צבע (אורך גל) יהיה מרחק y ממרכז המסך שונה. כל הגלים האדומים ייפגשו בנקודה אחת וכל הגלים הסגולים ייפגשו בנקודה אחרת. כך במקום כל נקודת האור מקבלים ספקטרום צבעים. גלים אדומים בעלי הפרש מופע שונה (λ2, λ3, וכו') ייפגשו בנקודות שונות. התמונה המתקבלת היא:

אדום סגול   חושך   אדום סגול   חושך   לבן   חושך   סגול אדום   חושך   סגול אדום

בעיות בשריג אופטי

224. שני סדקים מרוחקים 0.8 מ"מ זה מזה ו 160 ס"מ מהמסך. מהו הרוחק בין הפס הבהיר השני והשלישי בתמונת התאבכות כשמאירים את הסדקים באור של 450 ננומטר ?

225. בתבנית התאבכות המרחק בין הפסים הכהים הראשון והשני הוא 0.6 ס"מ. המרחק בין הסדקים, היוצרים את תמונת ההתאבכות, הוא 60 μm, ומרחק בין סדקים ובין מסך הוא 1 מ'. מהו אורך הגל של האור המוקרן ?

226. א. מהו אורך גל של אור אשר זוית הסטייה שלו בסדר השלישי היא 48° בשריג אופטי בעל 800 קוים / מ"מ ?
ב. מהי סטיית הסדר הראשון באורך גל זה ?

227. כיצד תשתנה תבנית התאבכות אם:
א. נגדיל מרחק בין הסדקים ?
ב. נשתמש באורך גל קצר יותר ?
ג. נקח מספר גדול יותר של סדקים אך לא נשנה מרחק בין פסים סמוכים ?
ד. נזיז את המסך קרוב יותר לסדקים ?

228. מקרינים על שריג עקיפה אור אדום ומקבלים תבנית התאבכות על המסך. מחליפים מקור אור אדום לירוק. האם תשתנה תבנית התאבכות ? אם כן, איך ? צייר תמונות בשני מקרים.

229. שני סדקים נמצאים במרחק 0.02 מ"מ זה מזה. מסך עומד מקביל לסדקים במרחק 60 ס"מ מהם. מקרינים אור בעל תדירות $4.6 \cdot 10^{14}$ Hz על הסדקים ומתקבלת תמונת התאבכות על המסך.
א. מהו המרחק בין פס אור מרכזי ופס האור הבהיר הראשון ?
ב. מהו עוביו של פס האור המרכזי ?

230. מקור אור מונוכרומטי מקרין על סדק בעל רוחב 0.05 מ"מ, הנמצא במרחק 1.2 מ' מהמסך ועל המסך מתקבלת תמונת התאבכות. רוחב פס האור המרכזי הוא 28 מ"מ.
א. מהו אורך גל של האור המוקרן ?
ב.מה ישתנה אם נחליף סדק זה לסדק בעל רוחב 5 מ"מ ?

231. בניסוי משתמשים בשני שריגי עקיפה: 600 קוים / ס"מ ו 80 קוים / מ"מ. איזה שריג יוצר תמונת התאבכות צפופה פחות ?

232. על שריג אופטי בעל 625 קוים / מ"מ מקרינים אור מונוכרומטי ויוצרים תמונת התאבכות. כאשר מעבירים קו מהשריג לפס כהה שני בתמונת התאבכות נוצרת זוית 45° בין הקו ובין הקרן המרכזית הפוגעת במרכז המסך. מהו אורך גל של האור ?

233. שני מקורות אור, שמרחק ביניהם 35 μm, מקרינים אור קוהרנטי בעל תדירות $5 \cdot 10^{14}$ Hz אך בהפרש מופע מסוים. המסך נמצא במרחק 80 ס"מ ממקורות האור ועליו נוצרת תמונת התאבכות, בה הפס הכהה השני מצוי במרחק 2.8 ס"מ ממרכז תמונת ההתאבכות. חשב את הפרש המופע בין שני מקורות האור.

234. על שריג אופטי בעל קבוע 50 קוים / ס"מ מקרינים אור בעל אורך גל 4200 Å. על המסך נוצרת תמונת התאבכות ובה פס אור בסדר שני מרוחק ב 2.1 מ"מ ממרכז התמונה. מהו המרחק בין שריג ובין מסך ?

235. אור מונוכרומטי בעל אורך גל 700 nm מוקרן על שריג עקיפה המרוחק מן המסך ב 1.2 מ'. בתמונת ההתאבכות, הנוצרת על המסך, מרחק בין הפס הכהה השני מהמרכז הוא 5 מ"מ. מהו המרחק בין שני סדקים סמוכים על השריג ?

236. בתמונת התאבכות פס האור המרכזי הוא בעל רוחב 66 ס"מ. תמונת ההתאבכות התקבלה באור בעל אורך גל 5000Å והמרחק בין שריג ובין מסך הוא 95 ס"מ. מהו קבוע השריג ?

237. אור בעל אורך גל 5600 Å נופל מאונך על שריג עקיפה. המינימום השני של תמונת ההתאבכות מתקבל בזוית 11.5^{0} ביחס לאנך לשריג. מהו קבוע השריג ?

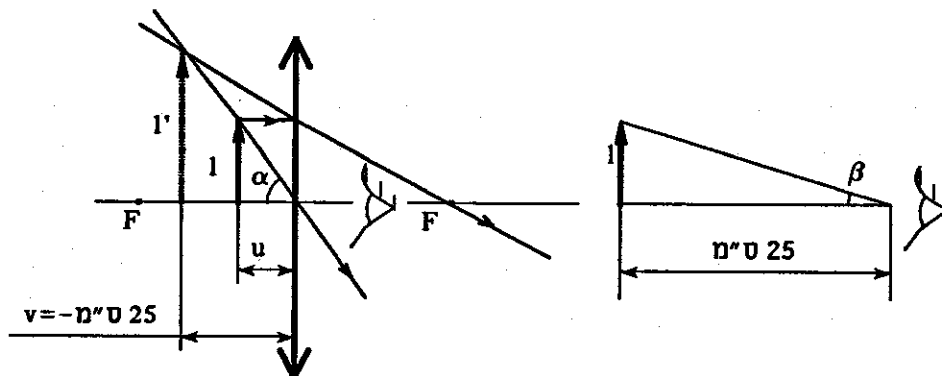
238. כדי לקבל את תמונת ההתאבכות מקרינים אור בעל אורך גל 0.75 μm על שריג ועל המסך מסמנים מקום של מקסימום הראשון. אחרי זה מחליפים מקור אור לאור בעל אורך גל 500 nm. האם בנקודה המסומנת יהיה נקודת אור או חושך ?

פרק 4

מכשירים אופטיים

4.1 זכוכית מגדלת ומשקפיים

זכוכית מגדלת זוהי עדשה מרכזת. העצם נמצא במרחק קטן ממרחק המוקד שלה ומתקבלת דמות מדומה, ישרה ומוגדלת. בעבודה עם זכוכית מגדלת עין האדם צמודה לזכוכית מגדלת.



לעין בריאה מרחק ראיה ברורה ביותר משתנה בתחום $\infty \div 25$ ס"מ. ז"א העין מסוגלת להסתגל לכל מרחק מעל 25 ס"מ עד אינסוף.

זכוכית מגדלת משמשת לעצמים קטנים וקרובים, לכן הגדלה היא פארמטר חשוב ביותר. ישנם שני סוגי ההגדלה:

א. הגדלה קוית - יחס בין מידות הדמות והעצם. $H = \frac{l'}{l}$

ב. הגדלה זויתית - יחס בין זוית ראיה על הדמות ובין זוית ראיה על העצם ללא זכוכית מגדלת. הגדלה זאת חשובה יותר. $M = \frac{\alpha}{\beta}$

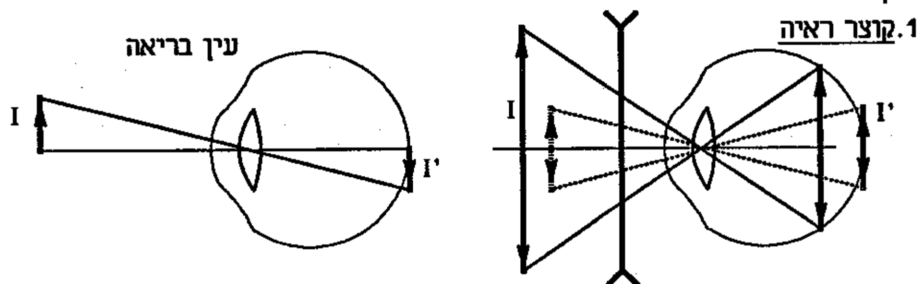
הגדלה זויתית מקסימלית מתקבלת כאשר דמות נמצאת במרחק 25 ס"מ (עין מתאמצת במידה רבה). $M_{max} = \frac{\frac{1}{u}}{\frac{1}{25}} = \frac{\frac{1}{f} - \frac{1}{-25}}{\frac{1}{25}} = 1 + \frac{25}{f}$

הגדלה זויתית מינימלית מתקבלת כאשר דמות נוצרת באינסוף, כלומר עצם נמצא במוקד. (עין לא מתאמצת). $M_{min} = \frac{\frac{1}{f}}{\frac{1}{25}} = \frac{25}{f}$

תפקידם של משקפיים – לתקן ליקויי ראיה. בעין בריאה דמות של העצם מתקבלת על הרשתית ולכן היא ברורה.

ליקויי ראיה הם:

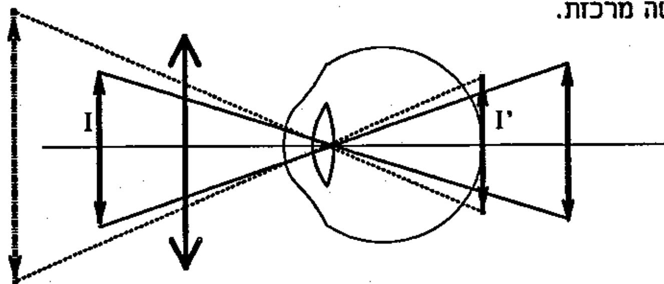
1. קוצר ראיה



בקוצר ראיה הדמות נוצרת קרובה יותר מהרשתית, ולכן היא מטושטשת. כדי "להזיז" את הדמות אל הרשתית, משתמשים בעדשה מפזרת ואז הדמות מתקבלת על הרשתית והיא ברורה.

2. רוחק ראיה

כמו בקוצר ראיה הדמות אינה מתקבלת על הרשתית אלא מאחוריה. כדי לקרב אותה, משתמשים בעדשה מרכזת.



משקפיים יוצרים את דמות העצם במקום שהעין רואה היטב, ודמות זאת מהווה עצם לעין, עדשת העין יוצרת דמות ממנו על הרשתית.

לדוגמה:

1. עין רואה היטב עד 50 ס"מ, עצמים רחוקים היא אינה רואה. אילו משקפיים יש להתאים ?

תשובה: עדשת המשקפיים צריכה ליצור דמות של העצם הרחוק ($u = \infty$) במרחק 50 ס"מ מהעין ($v = -50$ ס"מ). דמות מתקבלת מדומה לכן v – שלילי.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-50}$$ $f = -50$ ס"מ – דרושה עדשה מפזרת.

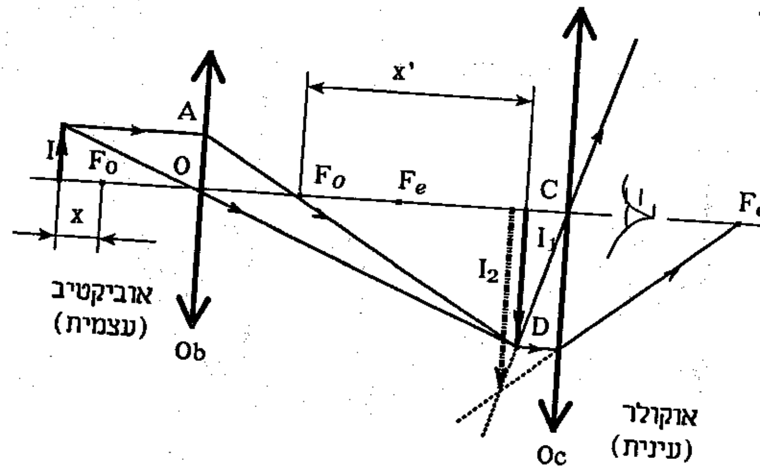
2. עין רואה היטב ממרחק 80 ס"מ ומעלה. אילו משקפיים צריך להרכיב, כדי לקרוא ספר הנמצא במרחק 25 ס"מ ?

תשובה: $u = 25$ ס"מ $v = -80$ ס"מ $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-80}$ $f = 36.4$ ס"מ

דרושה עדשה מרכזת בעלת מרחק המוקד 36.4 ס"מ.

4.2 מיקרוסקופ

מיקרוסקופ זהו מכשיר הבנוי משתי עדשות מרכזות להתבוננות בעצמים קטנים מאד וקרובים אליו.



עצם נמצא קרוב מאד למוקד של אוביקטיב (x – קטן מאד). האוביקטיב יוצר דמות ממשית, הפוכה ומוגדלת I_1. הגדלת האוביקטיב מחושבת לפי: $H_o = \frac{x'}{f_o}$

(משולשים AF_oO ו CDF_o דומים: $\frac{I'}{I} = \frac{x'}{f_o}$)

דמות אחרי אוביקטיב מהווה עצם לאוקולר. האוקולר עובד כמו זכוכית מגדלת מפני שהעצם נמצא במרחק קטן ממרחק המוקד f_e. דמות סופית מתקבלת מדומה, הפוכה (לגבי עצם) ומוגדלת. הגדלה של אוקולר כמו של זכוכית מגדלת:

$$M_{min} = \frac{25}{f_e} \qquad M_{max} = \frac{25}{f_e} + 1$$

הגדלה של מיקרוסקופ מורכבת משתי הגדלות:

$$M_{min} = \frac{x'}{f_o} \cdot \frac{25}{f_e} \qquad M_{max} = H_o \cdot M_e = \frac{x'}{f_o} \cdot \left(\frac{25}{f_e} + 1\right)$$

כדי לשפר הגדלת המיקרוסקופ:

א. יש להקטין מרחק x אז המרחק 'x גדל.

ב. לבחור אוביקטיב ואוקולר בעלי מרחק מוקד קטן.

שימוש:

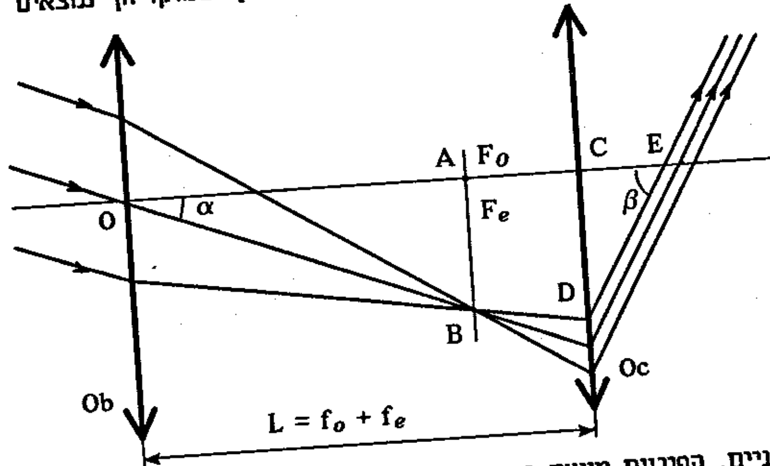
מיקרוסקופ הוא אחד המכשירים השימושיים ביותר בתחומים: תעשיה, רפואה וענפי מדע אחרים. במיקרוסקופ משתמשים להתבוננות, למדידות וצילום של חלקים קטנים ביותר. בעזרת מיקרוסקופ אלקטרוני ניתן לראות אטומים בודדים.

4.3 טלסקופ קפלר וגלילי

לעומת המיקרוסקופ טלסקופ עובד עם גופים גדולים ורחוקים. ישנם שני סוגי טלסקופ:

1. טלסקופ קפלר

טלסקופ קפלר בנוי שתי עדשות מרכזות, המורכבות כך שמוקדיהן נמצאים באותה נקודה.



אלומת הקרניים, הפוגעת מעצם רחוק, היא מקבילה לציר אופטי ולכן מתקבלת דמות במוקד של אוביקטיב שהוא גם מוקד של אוקולר. זה גורם לאלומת הקרניים, היוצאת מאוקולר, להיות מקבילה לציר אופטי גם כן. באלומה מקבילה לעין נוח ביותר להסתכל. דמות יוצאת מוגדלת, הפוכה וממשית.

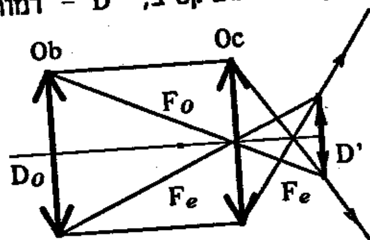
הגדלה של טלסקופ היא הגדלה זויתית כי תפקידו להגדיל זוית ראייה על העצם.

במשולש ABO: $\alpha \approx \frac{AB}{f_o}$ $\quad M = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_o}{f_e}$

במשולש CDE: $\beta \approx \frac{AB}{f_e}$ (לזויות קטנות $\alpha \approx \sin\alpha \approx \tan\alpha$)

מנוסחת ההגדלה רואים שיש לבנות טלסקופ עם אוביקטיב בעל מרחק המוקד גדול ואוקולר בעל מרחק המוקד קטן כדי להקנות לטלסקופ הגדלה מירבית. אורך של טלסקופ קפלר הוא סכום שני מוקדים: $L = f_o + f_e$

קוטר האוביקטיב קובע את כמות האור הנכנס לטלסקופ. הגדלת הטלסקופ תלויה גם בקוטר העדשות: $M_T = \frac{D_o}{D'}$ כאשר D_o - קוטר האוביקטיב, D' - דמות של האוביקטיב דרך אוקולר, הנקראת "אישון".



כדי להבטיח הגדלה טובה, קוטר האוביקטיב צריך להיות גדול. מצד שני ככל שקוטר האוביקטיב גדול יותר, העיוותים גדולים יותר. יש למצוא קוטר אופטימלי אשר מקנה הגדלה גבוהה אבל עיוותים לא גדולים אשר ניתן לתקנם.

שימוש בטלסקופ קפלר – באסטרונומיה. חיסרונותיו – דמות הפוכה ומידות של טלסקופ גדולות – באסטרונומיה אין להם משמעות.

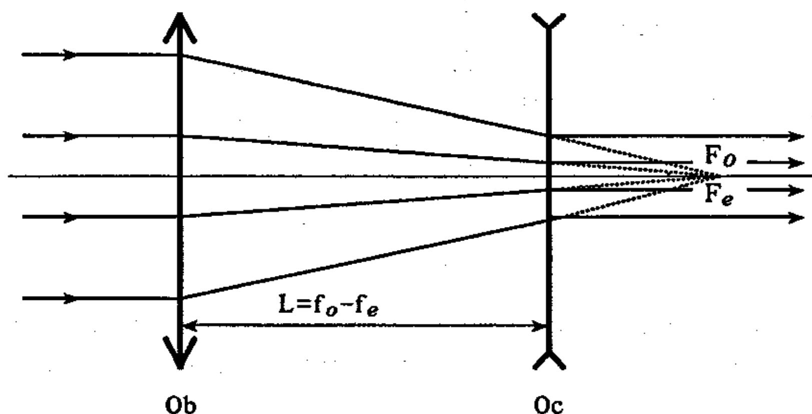
2.טלסקופ גלילי

טלסקופ גלילי בנוי שתי עדשות: אחת מרכזת ושניה מפזרת. המוקד המשותף של אוביקטיב ואוקולר נמצא מחוץ לטלסקופ וזה מקטין את מידותיו.

דמות מתקבלת במוקד המשותף והיא מוגדלת, ישרה ומדומה. לפי הציור רואים ששדה ראייה של אוקולר קטן מזה של אוביקטיב, לכן שדה ראייה של טלסקופ גלילי קטן מזה של טלסקופ קפלר. $M = -\frac{f_o}{f_e}$ (מינוס בנוסחה נובע מזה שהדמות מדומה, v – שלילי, f_e – שלילי גם, לכן הגדלה חיובית)

שימוש

בטלסקופ גלילי משתמשים בשדה, בתאטרון, למרחקים מוגבלים, כאשר חשוב לקבל דמות ישרה ומכשיר צריך להיות נייד ובעל מידות קטנות.



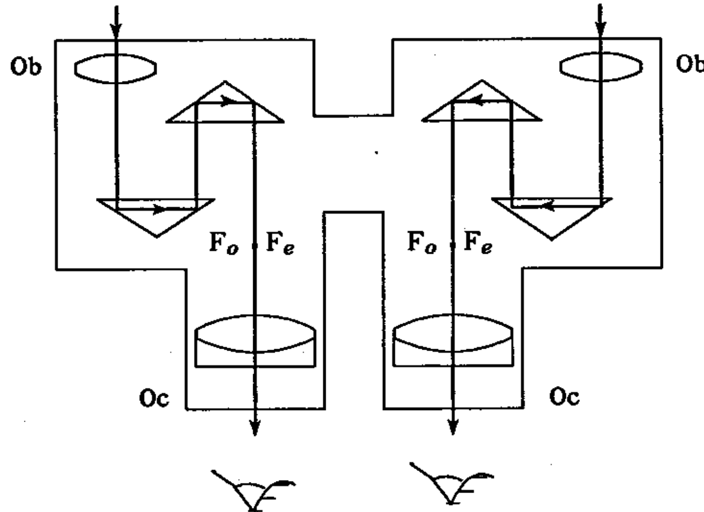
4.4 משקפת ומצלמה

מבנה של משקפת זהה למבנה הטלסקופ: אלומת קרניים מקבילה נכנסת למשקפת, נוצרת דמות במוקד המשותף של אוביקטיב ואוקולר ואלומה מקבילה יוצאת מן המשקפת. ההבדל הוא בממדים. מכיוון שבמשקפת משתמשים בשדה, ישנה דרישה למידות קטנות וחשוב לקבל תמונה ישרה. כדי לפתור את שתי הבעיות האלה במבנה של טלסקופ משתמשים במנסרות. התפקיד של מנסרות:

א. להפוך את הדמות

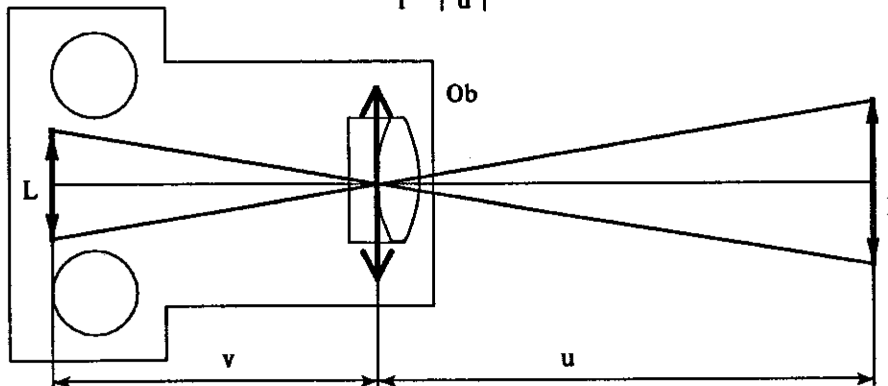
ב. להקטין את מידות המכשיר על ידי הפניית אלומת הקרניים בדרך מזוגזגת.

מרחק המוקד של האוביקטיב צריך להיות גדול כי הוא משפיע על הגדלת המשקפת.



מצלמה

מבנה המצלמה פשוט. העיקרון - לקבל דמות של העצם על נייר צילום בעזרת אוביקטיב בלבד. גודל הדמות צריך להתאים לגודל תמונת הסרט. לכל מרחק u יש להזיז אוביקטיב למרחק v המתאים לו. $H = \frac{L}{l} = \left|\frac{v}{u}\right|$



בעיות במכשירים אופטיים

זכוכית מגדלת ומשקפיים

239. שרטט את מהלך הקרניים בזכוכית מגדלת. חשב הגדלה זויתית של זכוכית מגדלת בעלת מרחק המוקד 10 ס"מ בשביל אדם בעל מרחק ראייה ברורה ביותר 20 ס"מ.

240. מהן הגדלה מקסימלית והגדלה מינימלית לגבי זכוכית מגדלת בעלת עוצמה 12.5D ?

241. אדם מסוגל לראות היטב עצמים הנמצאים במרחק 35 ס"מ מעיניו. כשהוא מסתכל דרך זכוכית מגדלת - הוא רואה היטב עצם הנמצא במרחק 11 ס"מ מעיניו.

א. מהו מרחק המוקד של זכוכית מגדלת ?

ב. מהי ההגדלה הזויתית של זכוכית מגדלת ?

242. מרחק ראייה ברורה ביותר של אדם הוא 22 ס"מ.

א. איפה נמצא העצם, שהאדם מתבונן בו דרך זכוכית מגדלת בעלת הגדלה פי 5?

ב. מהו מרחק המוקד של זכוכית מגדלת זו ?

243. כדי לראות עצם קטן, הנמצא במרחק 5 ס"מ מעיניו, אדם משתמש בזכוכית מגדלת בעלת עוצמה 10 D. מהו מרחק הראייה הברורה ביותר של האדם ?

244. הגדלה מירבית של זכוכית מגדלת היא 9. איפה יש לשים עצם כדי שעין בריאה תראה אותו ברור ?

245. איך תשתנה עוצמת העין כשאדם מעביר עיניים מהספר, הנמצא במרחק 25 ס"מ, לכוכבים באינסוף ?

246. יהונתן קורא ספר במשקפיים. כאשר הוא מסיר אותם, הוא מקרב את הספר למרחק 16 ס"מ מהעין. מהי עוצמת המשקפיים ?

247. אדם בעל עיניים בריאות מסתכל דרך משקפיים בעלי עוצמה 5 D. באיזה טווח יכול להימצא עצם, כדי שייראה ברור ?

248. אדם רוחק-רואי רואה ברור ממרחק 80 ס"מ ומעלה. לאילו משקפיים הוא זקוק כדי לראות עצמים במרחק 25 ס"מ ?

249. אדם מסוגל לראות היטב עצמים מרוחקים לפחות 1.5 מ' מעיניו. עד איזה מרחק יוכל לראות היטב אם ירכיב משקפיים בעלי עוצמה 1.6 D ?

250. אדם מרכיב משקפיים בעלי עוצמה 1.2 D- ורואה היטב במרחק 70 ס"מ. איפה צריך להיות עצם כדי שאותו אדם יראה אותו בלי משקפיים ?

251. א. אילו משקפיים לקריאה יש להזמין לאדם בעל קוצר ראייה אם הוא קורא לא רחוק יותר ממרחק 20 ס"מ מעיניו ?

ב. אילו משקפיים הוא צריך להרכיב ברחוב ?

252. א. אילו משקפיים לקריאה צריך אדם בעל רוחק ראייה אם הוא קורא במרחק לא

פחות מ 50 ס"מ ?

ב. אילו משקפיים הוא צריך להרכיב ברחוב ?

253. אדם, אשר רואה היטב בתוך המים, האם הוא בעל רוחק ראייה או קוצר ראייה ?

254. אדם משתמש לקריאה במשקפיים בעלי עוצמה D 5.5-. אילו משקפיים הוא צריך, כדי לראות עצם מרוחק ל 0.5 מ' ממנו ?

מיקרוסקופ

255. מרחקי המוקד של אוביקטיב ואוקולר של מיקרוסקופ הם 0.8 ס"מ ו 6 ס"מ. המרחק ביניהם הוא 18.4 ס"מ.

א. מצא את מקום הדמות הסופית באופן גרפי ועל ידי חישוב, אם העצם נמצא במרחק 0.85 ס"מ מן האוביקטיב.

ב. חשב את ההגדלה המינימלית של המיקרוסקופ.

256. במיקרוסקופ רוחק מוקד האוביקטיב הוא 1 ס"מ ושל אוקולר 5 ס"מ. עצם נמצא במרחק 1.1 ס"מ מהאוביקטיב. אדם מסתכל במיקרוסקופ דרך משקפיים בעלי עוצמה D 4.

א. מהו מרחק ראייה ברורה ביותר של אדם אם אורך המיקרוסקופ 15 ס"מ ?

ב. מהי ההגדלה המינימלית של מיקרוסקופ ?

257. מרחק המוקד של אוביקטיב הוא 0.5 ס"מ ומרחק המוקד של אוקולר הוא 5 ס"מ. המרחק בין שתי העדשות הוא 15 ס"מ.

א. היכן למקם עצם, כדי לקבל תמונה סופית 25 ס"מ מאוקולר ?

ב. חשב את ההגדלה המקסימלית של המיקרוסקופ.

ג. פי כמה הדמות הסופית גדולה מהעצם ?

ד. שרטט את מהלך הקרניים.

258. אדם מסתכל דרך מיקרוסקופ בשערה שעוביה 0.2 מ"מ. מרחק המוקד של אוביקטיב הוא 0.5 ס"מ ועוצמת האוקולר היא D 12. השערה נמצאת במרחק 0.6 ס"מ מהמיקרוסקופ ודמותה מתקבלת במרחק 23 ס"מ מהאוקולר.

א. מהו המרחק בין אוביקטיב ואוקולר ?

ב. מה גודל דמות השערה ?

259. מרחק המוקד של אוביקטיב של מיקרוסקופ הוא 0.5 ס"מ. המרחק בין אוביקטיב ואוקולר הוא 16 ס"מ. הגדלה מינימלית של מיקרוסקופ לעין בריאה היא 200. מהי הגדלת האוקולר למרחק ראייה ברורה ביותר 25 ס"מ ?

260. מרחק המוקד של אוקולר של מיקרוסקופ הוא 4 ס"מ. המרחק בין אוביקטיב ואוקולר הוא 18 ס"מ. הגדלה מינימלית של מיקרוסקופ היא 300. חשב את מרחק המוקד של האוביקטיב אם תמונה סופית מתקבלת במרחק ראייה ברורה ביותר 25 ס"מ.

261. מהי הגדלה מינימלית של מיקרוסקופ אם מרחקי המוקד של אוביקטיב ואוקולר הם בהתאם: 8 מ"מ ו 5 ס"מ, והמרחק בין שתי העדשות הוא 21 ס"מ. הנח

שתמונה מתקבלת במרחק ראייה ברורה ביותר 25 ס"מ.

262. עצם נמצא במרחק 6.1 מ"מ מאוביקטיב המיקרוסקופ. מרחק המוקד של האוקולר הוא 1.25 ס"מ. הגדלה מינימלית של המיקרוסקופ היא 1260. מהו מרחק המוקד של האוביקטיב ?

263. מרחק המוקד של אוביקטיב של מיקרוסקופ הוא 0.3 ס"מ. המרחק בין המוקד האחורי של אוביקטיב ובין המוקד הקדמי של אוקולר הוא 15 ס"מ. הגדלת המיקרוסקופ המינימלית לעין בריאה, בעלת מרחק ראייה ברורה ביותר 25 ס"מ, היא 2500. חשב את מרחק המוקד של האוקולר.

264. ההגדלה המינימלית של מיקרוסקופ היא 2000 כאשר דמות מתקבלת במרחק 25 ס"מ מהמיקרוסקופ. המרחק בין מוקד אחורי של אוביקטיב והמוקד הקדמי של אוקולר הוא 18.5 ס"מ. מרחק המוקד של האוקולר הוא 0.6 ס"מ. מהו מרחק המוקד של האוביקטיב ?

טלסקופ

265. מהם ההבדלים בין טלסקופ למיקרוסקופ ?

266. מה קורה אם מסתכלים בטלסקופ דרך האוביקטיב ? מדוע ?

267. קוטר האוביקטיב של טלסקופ הוא 8 ס"מ. מאוקולר יוצאת אלומה מקבילה בעלת קוטר 4 מ"מ. מהי הגדלת הטלסקופ ? שרטט את מהלך הקרניים.

268. מרחק מוקד האוביקטיב של טלסקופ הוא 100 ס"מ ומרחק מוקד האוקולר הוא 8 ס"מ. באיזו זוית מסתכלים על הלבנה דרך הטלסקופ, אם זוית האלומה היוצאת מהטלסקופ היא 0.5^0 ?

269. טלסקופ מכוון לאינסוף. בכמה יש להזיז את האוביקטיב כדי לראות באותו טלסקופ עצם, הנמצא במרחק 100 מ' ממנו ? מרחק מוקד האוביקטיב הוא 60 ס"מ.

270. טלסקופ קפלר מורכב מאוביקטיב שרוחק המוקד שלו 12 ס"מ ואוקולר שרוחק המוקד שלו 5 ס"מ. מכוונים את הטלסקופ לעצם כך שדמותו מתקבלת במרחק 30 ס"מ מהאוקולר. חשב את הגדלת הטלסקופ במקרה זה.

271. מרחק מוקד האוקולר של טלסקופ קפלר הוא 5 ס"מ ומרחק מוקד האוביקטיב הוא 6 מ'. דמות מתקבלת במרחק 30 ס"מ מהאוקולר.

א. מהו אורך הטלסקופ ?

ב. מהי ההגדלה הזויתית של הטלסקופ ?

ג. מהו קוטר הדמות של כוכב על המסך אם הכוכב נראה בזוית '3 ?

272. בן-אדם יכול להפריד בין שני גופים אם הוא מסתכל בזוית 0.001 Rad. באיזה מרחק מינימלי יכולים להימצא שני מקורות אור על הירח, כדי שאדם יבחין בהם בטלסקופ אם מרחקי המוקדים של אוביקטיב ואוקולר בהתאם הם: 8 מ' ו 1 ס"מ? המרחק בין כדור הארץ לירח הוא 380,000 ק"מ בערך.

273. מרחק מוקד האוביקטיב בטלסקופ גלילי הוא 45 ס"מ ומרחק מוקד האוקולר 5 ס"מ. מחליפים עדשות של טלסקופ לשתי עדשות מרכזות, כך שטלסקופ הופך לטלסקופ קפלר. הגדלת הטלסקופ לא השתנתה. מהם מרחקי המוקד של עדשות חדשות ?

274. מרחק מוקד האוביקטיב הוא 24 ס"מ והטלסקופ מכוון לאינסוף. כדי לראות עצמים הנמצאים במרחק 6 מ' מהטלסקופ, מזיזים את האוקולר במרחק a. חשב את מרחק a.

275. מהו אורך הטלסקופ אם מרחקי המוקד של אוביקטיב ואוקולר בהתאם הם: 25 ס"מ ו 8 ס"מ, והדמות הסופית מתקבלת במרחק ראייה ברורה ביותר 25 ס"מ ?

276. משקפת גלילי מורכבת מאוביקטיב בעל רוחק המוקד 16 ס"מ ואוקולר בעל רוחק המוקד 6– ס"מ. הדמות הסופית מתקבלת במרחק 24 ס"מ מהאוקולר. חשב את ההגדלה הזויתית של הטלסקופ.

277. מרחק המוקד של אוביקטיב בטלסקופ אסטרונומי הוא 5 מ' ומרחק המוקד של אוקולר 5 ס"מ. כדי לצלם כוכבים, מתקינים לוח צילום במרחק 25 ס"מ מהאוקולר.

א. מהו אורך הטלסקופ ?

ב. מהי ההגדלה הזויתית של הטלסקופ ?

ג. מהי זוית ראייה על הכוכבים אם דמויותיהם על לוח הצילום מרוחקות במרחק 3 מ"מ ?

משקפת ומצלמה

278. רוחק המוקד של אוביקטיב המצלמה הוא 6 ס"מ. יש לצלם עצם שגובהו 25 ס"מ והוא נמצא 3 מ' מהמצלמה.

א. חשב את אורך המצלמה (המרחק בין האוביקטיב לבין הסרט).

ב. מהו גודל מינימלי של תמונה, כדי שהדמות תצטלם בשלמותה ?

279. מצלמה יכולה לצלם עצמים, הנמצאים במרחק מינימלי של 50 ס"מ מהאוביקטיב. מאיזה מרחק יהיה אפשר לצלם אם נוסיף לאוביקטיב עדשה מרכזת בעלת עוצמה 2 D ?

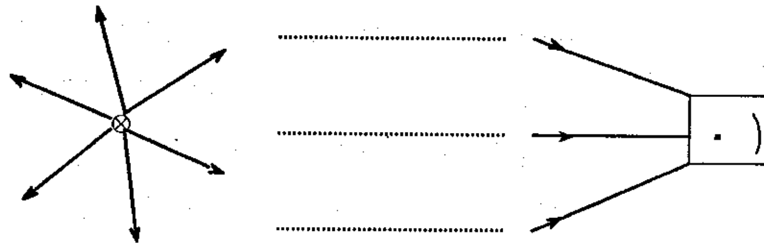
280. עצם מרובע בעל צלע 1.2 מ' מרוחק 4 מ' מהמצלמה. מהי עוצמת האוביקטיב של המצלמה אם מתקבלת דמות מרובעת בעלת צלע 8 ס"מ ?

281. כדי ליצור סקלה שבה כל שנת שווה 0.1 מ"מ על ידי צילום, משתמשים בסקלה רגילה של סרגל שבה כל שנת שווה 1 מ"מ. מרחק המוקד של אוביקטיב המצלמה הוא 13.5 ס"מ. באיזה מרחק מהמצלמה יש לשים סקלה ?

282. במצלמה משתמשים בסרט צילום עם תמונות בגודל 35 מ"מ. מרחק המוקד של האוביקטיב הוא 8 ס"מ. האם תיכנס תמונתו של העץ במלואה, אם גובה העץ 1.2 מ' והוא נמצא במרחק 4.5 מ' מהמצלמה ?

פוטומטריה

פוטומטריה עוסקת במדידות של איפיונים אופטיים במקורות אור ובגלאי אור שונים.



האור שפוגע בגלאי זהו רק חלק מתוך כמות האור היוצאת ממקור האור. במכשירים אופטיים יש להתאים את רגישות הגלאי לעוצמת האור של מקור אור. לשם התאמה משתמשים באיפיונים הבאים:

1. אנרגית הקרינה W – נמדדת בדז'אולים. $(W = 1\ j)$

2. שטף אור ϕ – זהו הספק הקרינה. השטף נמדד בלומנים (lumen) $\boxed{\phi = \frac{W}{t}}$

לומן, לפי תקן בינלאומי, מוגדר כך: זוהי קרינה של גוף שחור בעל שטח 0.5305 ממ"ר בטמפרטורה של נקודה היתוך פלטינה (Pt) – 2046^o K (1773^oC).

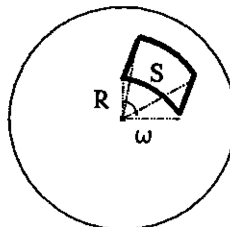
כדי להעריך גודל השטף נשווה שטף האור עם שטף של נורת להט: $\phi = 20\ \frac{lm}{w}$,

כלומר לנורה של 60 וואט יש שטף אור של 1200 lm.

3. זוית מרחבית ω – לעומת זוית מישורית היא נמצאת בשלושה מימדים. ניתן לתאר זוית מרחבית כזוית ראש של קונוס או זוית ראש של פלח אבטיח, הנגזר מהמרכז. זוית מרחבית נמדדת בסטֶרָדיאנים (steradian). זוית מרחבית נמדדת על ידי יחס בין שטח של חלק הכדור לריבוע רדיוס הכדור. $\boxed{\omega = \frac{S}{R^2}}$

אם שטח של חלק הכדור שווה 1 מ"ר ורדיוס הכדור שווה 1 מ' – זוית מרחבית שווה ל 1 ster.

זוית מרחבית של כדור שלם שווה 4π סטרדיאן. (זוית מישורית של מעגל היא 2π רדיאן).



4. <u>עוצמת האור I</u> – זוהי צפיפות מרחבית של שטף אור. $I = \frac{\phi}{\omega}$

יחידה של עוצמת האור היא נר (candle). 1 cd נקבע כך שבהירות של גוף שחור בטמפרטורה של נקודת היתוך של פלטינה תהיה 60 cd משטח 1 סמ"ר.

5. <u>בהירות B</u> – זוהי עוצמת האור, הנפלט מיחידת השטח של מקור אור, בכיוון מאונך לו. אם שטף אור נפלט בזוית למקור אור, מוסיפים $\cos\varphi$: $B = \frac{I}{S \cdot \cos\varphi}$

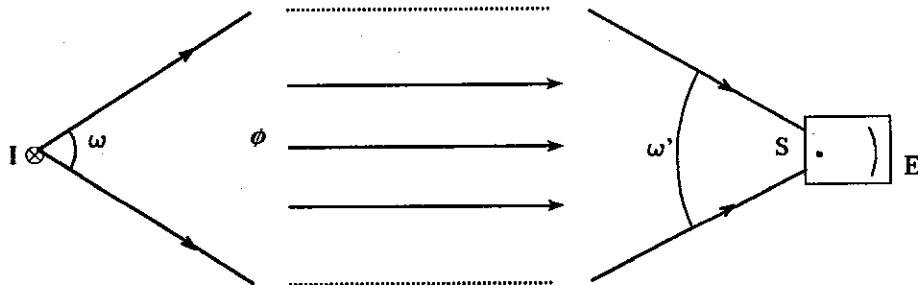
בהירות נמדדת בניט (nit).

6. <u>הארה E</u> – צפיפות האור על שטח של גוף מואר. $E = \frac{\phi}{S}$

אם מקור אור נקודתי והוא נמצא במרכז של כדור, אז הארה על שטח פנימי של הכדור היא: $E = \frac{\phi}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi R^2} = \frac{I}{R^2}$ אם אלומת האור פוגעת בזוית α לשטח המואר:

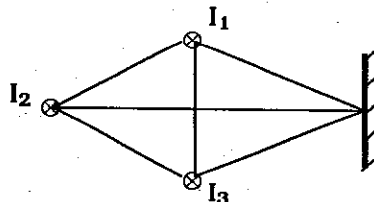
$$E = \frac{I}{R^2} \cdot \cos\alpha$$

הארה נמדדת בלוקסים (lux). 1 lux זוהי הארה של שטף אור 1 lm על שטח 1 מ"ר.



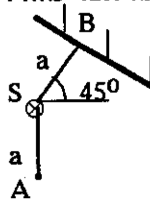
בעיות בפוטומטריה

283. בגובה 6 מ' תלויות בחצר שתי נורות 500 cd כל אחת. המרחק בין הנורות הוא 8 מ'. חשב את ההארות מתחת לכל נורה ובמרכז ביניהן.
284. על נורת להט רשום $\phi = 1300$ lm. חשב את ההארה במרכז ובקצה של שולחן עגול בעל קוטר 1.5 מ', אם הנורה תלויה מעל המרכז בגובה 2 מ'.
285. הארה במרכז השולחן צריכה להיות 10 lux. באיזה גובה מעל מרכז השולחן יש לתלות נורה בעלת עוצמה 100 cd ?
286. בגובה 2 מ' מעל מרכז שולחן שקוטרו 3 מ' תלויה נורה בעלת עוצמה 100 cd. מחליפים אותה בנורה בעלת עוצמה 25 cd ומשנים מרחק מן השולחן כך שההארה במרכז לא תשתנה. איך השתנתה ההארה בקצה השולחן ?
287. שתי נורות 25 cd ו 100 cd נמצאות במרחק 2.5 מ' זו מזו. באיזו נקודה ביניהן ההארה מכל אחת מהן תהיה שווה ?
288. נורה בעוצמה 200 cd תלויה בתקרת החדר. חשב שטף אור בחדר מהנורה אם היא מאירה לכל הכיוונים.
289. שתי נורות 25 cd ו 8 cd מרוחקות 1.8 מ' זו מזו. באיזה מרחק מהנורה הראשונה יש לשים דף נייר, כדי שההארה מהנורה הראשונה תהיה פי 2 מההארה מהנורה השניה ?
290. בגובה 8 מ' מעל הקרקע תלויה נורה בעוצמה 1000 cd. איפה נמצאת הנקודה אשר ההארה בה 1 lux ?
291. מעל הכיכר תלוי פנס. הארה בנקודות שהקרניים פוגעות בהן בזוית 70° היא 10 lux. מהי ההארה בנקודות שהקרניים פוגעות בהן בזוית 50° ?
292. כיכר מואר על ידי שתי נורות, התלויות אחת מעל השניה. נורה אחת בעלת עוצמה I_1 תלויה בגובה 8 מ' ונורה שניה בעוצמה I_2 תלויה בגובה 27 מ'. באיזה מרחק מעמוד עם נורות נמצאת נקודה שההארה בה לא תשתנה אם נחליף את הנורות במקומן ?
293. שלושה מקורות אור זהים, בעלי עוצמה 10 cd כל אחד, נמצאים בקודקודים של משולש שווה צלעות (צלע שווה 0.5 מ'). חשב את ההארה במרכז המשולש (נקודת החיתוך של שלושת הגבהים).
294. שלושה מקורות אור נמצאים בקודקודים של מעויין ובקודקוד הרביעי נמצא מסך. אלכסון אחד של מעויין שווה לצלעו. המסך מאונך לאלכסון השני.
$I_1 = I_3 = 10$ cd. מהי העוצמה של הנורה השניה אם כתוצאה מכיבויה יורדת ההארה על מסך פי 2 ?



295. על עמוד תלויות שתי נורות: אחת מעל השניה. העוצמה של כל נורה 200 cd והגבהים בהתאם 3 מ' ו 4 מ'. חשב את ההארה על האדמה במרחק 2 מ' מהעמוד.

296. מקור אור מאיר על נקודה A כמו שמתואר בציור. איך תשתנה ההארה בנקודה A אם במרחק SB = SA שמים מראה אשר מחזירה אור לנקודה A ?

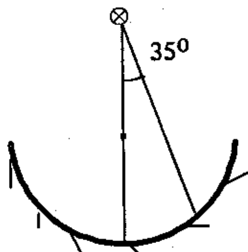


297. נורה מאירה על תמונה, התלויה על הקיר. עוצמת הנורה היא 96 cd. איזה שטף אור פוגע בתמונה, בעלת שטח 0.5 מ"ר, אם תמונה תלויה מול הנורה במרחק 4 מ' ממנה ועל הקיר ממול מאחורי הנורה תלויה מראה מישורית במרחק 2 מ' מהנורה ?

298. מהו מרחק מירבי שניתן לראות בו את קצה הסיגריה של אדם, אם עוצמת האור של סיגריה היא $\frac{1}{400}$ cd ושטף מינימלי, אשר עין קולטת, הוא 10^{-13} lm ? שטח האישונית בחושך הוא 0.4 סמ"ר.

299. בתוך מסרטה נמצאת נורה בעלת עוצמה 2000 cd. אור הנורה עובר דרך מערכת אופטית אל מסך. הארה על המסך היא 100 lux. באיזה מרחק נמצא מסך, אם בתוך מערכת אופטית נאבד 37.5% מהאור, היוצא ממקור האור ?

300. מעל חצי כדור בגובה, השווה לקוטר הכדור, נמצא מקור אור בעל עוצמה 50 cd. חשב הארה בנקודה שהקרניים פוגעות בה בזוית 35° אם רדיוס הכדור 1 מ'.



301. מעל השולחן תלוי מקור אור בגובה 2 מ'. מה תהיה ההארה על השולחן אם בדרך של קרניים שמים עדשה מרכזת בעוצמה 4 D, כך שמקור אור נמצא במוקדה ? עוצמת האור של מקור אור היא 25 cd.

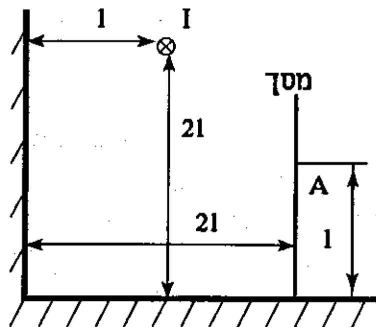
302. במוקד של מראה קעורה נמצאת נורה. במרחק 25 מ' מהמראה נמצא מסך. פי כמה קטנה ההארה על המסך, אם מורידים את המראה ? רדיוס המראה 50 ס"מ.

303. קרני שמש פוגעות במסך במאונך ויוצרות הארה 10,000 lux. לפני המסך שמים עדשה מרכזת בעלת מרחק מוקד 20 ס"מ והמרחק בין העדשה והמסך הוא 60 ס"מ. חשב את ההארה של כתם על המסך בצל של עדשה ובטבעת בהירה

מסביב.

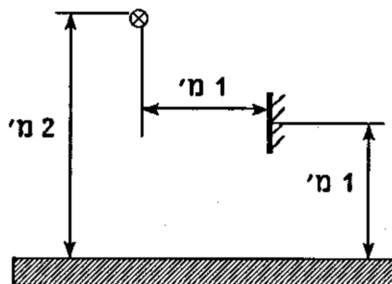
304. מקור אור נמצא בגובה h מעל לשטח. מעליו, במקביל לשטח נמצאת מראה מישורית. מהי תלות הארה במרחק בין מקור האור והמראה ?

305. שתי מראות מישוריות מונחות בזוית 90^0 זו לזו כמו שמתואר בציור.



במרחק 1 ממראה אנכית ובמרחק 21 ממראה אופקית נמצא מקור אור. קובעים מסך במרחק 1 מהמראה האופקית ובמרחק 21 מהמראה האנכית. חשב את ההארה בנקודה A על המסך אם עוצמת מקור האור היא I.

306. מעל השולחן בגובה 2 מ' נמצא מקור אור בעל עוצמה 120 cd. במרחק 1 מ' ממנו במישור מאונך לשולחן ובגובה 1 מ' מעל השולחן נמצאת מראה מישורית. חשב הארה מתחת למקור האור על השולחן.



307. בתרגיל 302 החליפו עדשה מרכזת לעדשה מפזרת בעלת עוצמה D 2– והניחו אותה במרחק 20 ס"מ מהמסך. חשב את ההארה בצל העדשה ובטבעת בהירה מסביב.

פרק 6

לייזר וסיבים אופטיים

6.1 לייזר

לייזר הינו מקור אור אלקטרו-אופטי. יש לו תכונות מיוחדות שאין למקורות אור אחרים. לכן תחומי השימוש בלייזר מגוונים: טלוידיה, רפואה, ענפי מדע רבים נוספים, בידור ועוד.

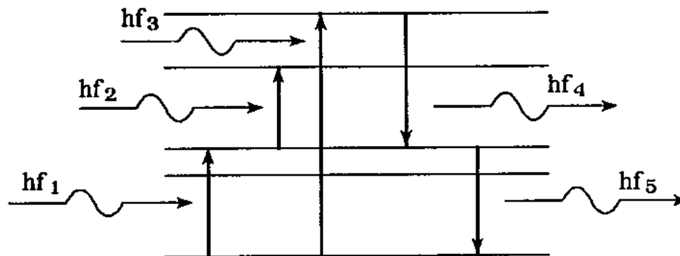
עקרון פעולה של לייזר

המלה לייזר בנויה מראשי תיבות של המונח האנגלי: Light Amplification by Stimulated of Radiation. בתרגום חופשי: הגברת האור על ידי קרינה מאולצת.

עקרון יצירת קרן הלייזר מבוסס על מודל המבנה האטומי של נילס בוֹר (Bohr). לפי פוסטולטים (כללים) של נילס בור יש לאלקטרונים רמות אנרגיה. במצב רגוע האלקטרון נמצא ברמת האנרגיה הנמוכה ביותר (groundstate). אם הוא מקבל אנרגיה מבחוץ, האלקטרון עולה לרמת אנרגיה גבוהה יותר. רמות האנרגיה מוגדרות לכל חומר ומתברר שאלקטרון יכול לקפוץ מרמה לרמה אבל אינו יכול להימצא בין הרמות.

כדי לקפוץ לרמה גבוהה יותר, האלקטרון צריך לקלוט אנרגיה. ברמות הגבוהות האלקטרון לא נשאר הרבה זמן מפני שמצב זה אינו יציב. לכן הוא נופל לרמה נמוכה יותר. במהלך הנפילה האלקטרון פולט אנרגיה.

קפיצות ספונטניות של אלקטרונים לרמות גבוהות ונפילתם מתרחשים כל הזמן ותהליכים אלה נלווים על ידי פליטה וקליטת האנרגיה.



קליטה ופליטת האנרגיה מתבצעות על ידי מנות האנרגיה הנקראות פוטונים.

מנות אלה שלמות ואינן יכולות להתחלק. אין אפוא במציאות חצי פוטון או אחד וחצי פוטון. מנת האנרגיה תלויה רק בתדירות של הקרינה

$$E = h \cdot f$$

כאשר h - קבוע של פְּלָנְק ($h = 6.6 \cdot 10^{-34}$ j · sec)

אם תדירות הקרינה גבוהה, גם מנת האנרגיה תהיה גדולה והאלקטרון אשר קלט מנה כזאת יקפוץ לרמה גבוהה יותר.

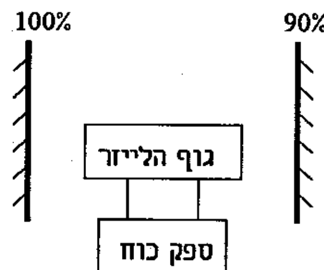
אם מנת האנרגיה לא מספיקה כדי לקפוץ לרמה מסוימת (ז"א מנת האנרגיה קטנה יותר מהפרש בין שתי רמות האנרגיה), אין האלקטרון קופץ, הוא נשאר במצב מעורר (excited).

במציאות האלקטרונים כל הזמן מקבלים אנרגיה בצורת חום, אור, חשמל, וכו'. הם קופצים לרמות גבוהות, נופלים חזרה, פולטים אנרגיה. אין כאן תהליך מסודר, אלא תהליך ספונטני, לכן האנרגיה הנפלטת על ידי אלקטרונים בודדים בזמן שונה, הינה בעוצמה נמוכה מאד. אם נצליח להקפיץ כמות גדולה של אלקטרונים בבת אחת לרמה גבוהה, הם יפלו יחד ויפלטו אנרגיה, שעוצמתה תהיה גדולה מאד. זה מה שאנו עושים בלייזר.

מבנה הלייזר

לייזר מורכב משלושה מרכיבים עיקריים:

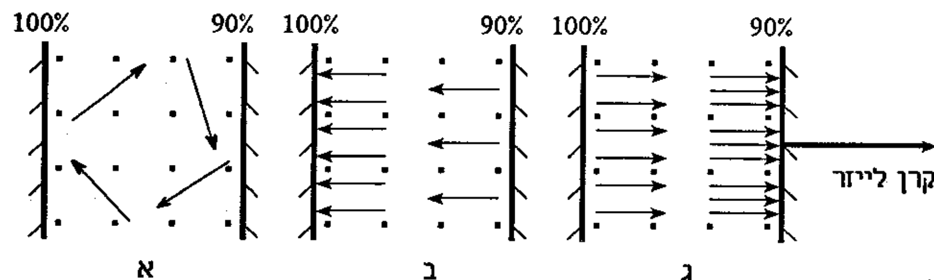
1. גוף הלייזר
2. רזונטור (מהוד) - מראות
3. ספק כוח



גוף הלייזר יכול להיות:

א. מוצק (Ruby - אודם)
ב. גזי (CO_2, He - Ne)
ג. נוזלי
ד. מוליך למחיצה (GaAs)

רזונטור מיועד להריץ פוטונים בגוף הלייזר. כאשר הפוטונים הנפלטים מוחזרים מהמראה, הם פוגעים באטומי החומר וגורמים ליציאת הפוטונים החדשים, זהים לפי תדירות וכיוון. אחרי הרבה ריצות בין המראות מוכפלת האלומה ונפרצת דרך אחת המראות שמקדם ההחזרה שלה אינו 100%.



ספק כוח מספק אנרגיה לאלקטרוני גוף הלייזר. נצילות הלייזר נמוכה מאד: לייזר מוליך למחיצה - 40%≈, לייזרים גזיים 0.1%≈ ÷ 1%≈ פרט ללייזר CO_2.
בגלל הנצילות הנמוכה הספק הכניסה צריך להיות גדול מאד כדי לקבל הספק יציאה משמעותי.

תכונות של קרן לייזר

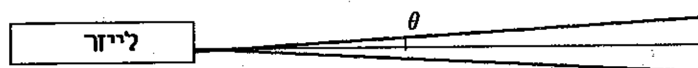
1.קרן מונוכרומטית (חד-צבעית)

צבע מתואר על ידי אורך גל או תדירות. מכיוון שכל הפוטונים הנפלטים הם זהים לפי תדר, הקרן יוצאת בצבע אחיד. תדר של הקרן תלוי בהפרש רמות האנרגיה של החומר: $f = \frac{E}{h}$. לכל חומר רמות האנרגיה שונות, לכן לייזרים בעלי גוף שונה מקרינים אור בצבע שונה. לדוגמה, לייזר He – Ne מקרין אור אדום, לייזר מוליך למחיצה מקרין אינפרא-אדום (IR), לייזר CO_2 מקרין ירוק.

לעומת לייזר, מקורות אור אחרים מקרינים מספר צבעים. למשל, נורת כספית מקרינה כחול, ירוק, סגול וכתום.

2.קרן מרוכזת

אלומת הפוטונים נפלטת בכיוון אחד. פוטונים אשר נפלטים הצידה, נבלעים, לכן ריכוז האלומה גבוה. מאפיינים את הריכוז על ידי זוית פיזור: $\theta = \frac{\lambda}{d}$



λ – אורך גל, d – קוטר גוף הלייזר.

זוית פיזור שונה ללייזרים שונים, אך היא קטנה מאד לעומת מקורות אור אחרים. אלו הן זויות פיזור של מקורות אור שונים:

לייזרים			מקורות אור אחרים		
CO_2	–	0.1^0	נורת להט	–	360^o
He – Ne	–	0.04^o	LED	–	40^0
Ruby	–	0.6^o	זרקור	–	30^o
מוליך למחיצה	–	5^o			

3.קרן קוהרנטית

כל פוטון גורם ליצירת פוטונים, זהים לו לפי מופע, כיוון, לכן נוצרת קרן קוהרנטית, בעלת הפרש מופע קבוע.

4.הספק יציאה גבוה

כאשר אלקטרונים נופלים בבת אחת מרמה גבוהה לרמה נמוכה, הם פולטים קרינה בעלת עוצמה גבוהה. כדי להגדיל את הספק היציאה, מתאימים את אורך הרזונטור כדי ליצור גלים עומדים (עמ' 6). אורך הרזונטור צריך להיות שווה למספר שלם של חצי אורכי גל לפי אורך גל הנקבע על ידי גוף הלייזר. ברור, שלאורכי גל שונים אורך הרזונטור יהיה שונה ליצירת גלים עומדים.

$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ – אורך הרזונטור

ישנם לייזרים המסוגלים לפלוט מספר אורכי גל. רזונטור מתאים רק לאורך גל אחד, לכן יתר אורכי גל נבלעים. בלייזר כזה יש מווסת עם מספר מצבים לאורכי גל שונים, אשר משנה את אורך הרזונטור בהתאם לאורך הגל הרצוי.

ההספק של הלייזרים יכול להיות מספר mw עד מספר Gw ($1\ Gw = 10^9\ w$).

קיימות שיטות שונות להגדלת הספק של הלייזר על ידי השהיית האלקטרונים ברמות גבוהות, כתוצאה מכך מצטרפים אליהם אלקטרונים נוספים, כמותם קובעת הספק יציאה גבוה.

5.קרן מקוטבת

קרן לייזר נפלטת מקוטבת (עמ' 24). בלייזר גזי, למשל, הקצוות של שפופרת הגז עשויים בזוית ברוסטר (עמ' 25).

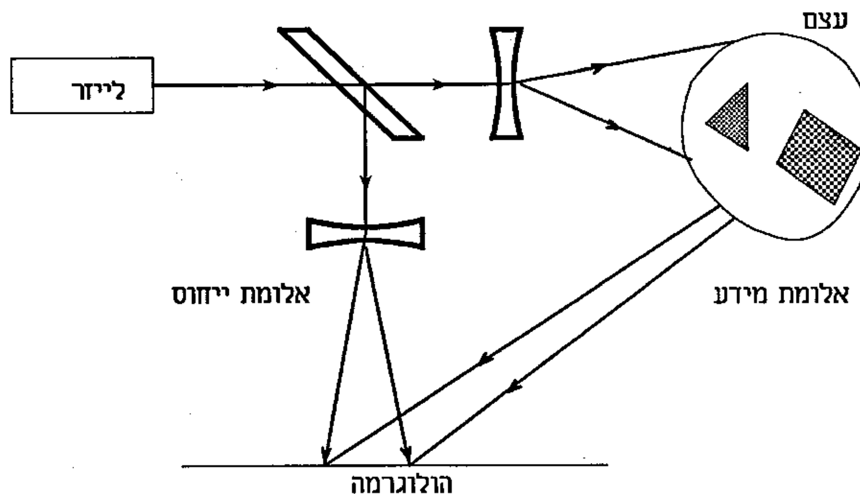
שימוש בלייזרים

תכונות מיוחדות של קרן לייזר מקנות לו שימוש רב-גווני:

1. תעשיה: חיתוך מדויק ללא שבבים, ריתוך כל זוג חומרים שאינו רתיך בריתוך רגיל, קידוח במקומות קשים לגישה.
2. רפואה: ניתוח עיניים, השמדת תאי סרטן, בדיקת האיברים הפנימיים מבפנים.
3. תקשורת: מכיוון שמהירות האור גדולה ביותר, תגובת המכשירים העובדים עם אור גבוהה מאד. יכולים לשלוח בערוץ אחד 10^{14} bit/sec לעומת כבל טלפוני $6 \cdot 10^8$ bit/sec.
4. צבא: כלי נשק מודרניים מתבססים על עקרון לייזר, מדי-מרחק מדויקים.
5. מדע: מדידות מדויקות במיוחד, מחקרים פיסיקליים וביולוגיים.
6. מחשבים: קריאה אופטית, שיחות בין מחשבים, זיכרון אופטי.
7. טלויזיה: בעתיד במקלט טלויזיה התמונה תיווצר בעזרת קרני לייזר במקום קרן אלקטרונית של היום, זה יאפשר לקבל טלויזיה תלת-מימדית – הולוגרמה.
8. הולוגרפיה:

את המונח ניתן לתרגם כרישום מלא (מלא – holos, רושם – grapho).

זהו צילום תלת-מימדי אשר נותן כל מידע נדרש על העצם המצולם.הולוגרמה שונה מצילום רגיל, היא מהווה תמונת התאבכות, שבכל נקודה שלה יש מידע על עצם שלם. כדי לצלם הולוגרמה, מפצלים אור לייזר (חייב להיות קוהרנטי) לשתי אלומות: אלומה אחת פוגעת ישר על ההולוגרמה ושניה מוחזרת מהעצם ואחרי זה פוגעת בהולוגרמה. על ההולוגרמה מתקיים מפגש של שתי האלומות ונוצרת תמונת התאבכות. לכל נקודה של הולוגרמה מגיעות קרניים מכל נקודה של העצם, לכן כל נקודה של הולוגרמה מחזיקה מידע על כל העצם ואם קורעים הולוגרמה למספר חלקים, כל חלק משחזר את כל התמונה רק בעוצמת האור נמוכה יותר.



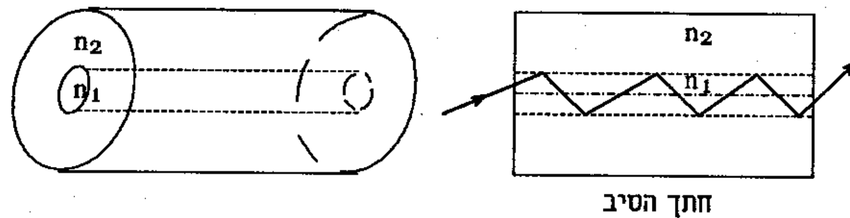
עקרון צילום ההולוגרמה שונה מצילום רגיל, בתמונה רואים את נפח הגוף ואפילו ניתן "להציץ" מאחורי הגוף, כלומר אם אחרי עץ עומדת מכונית, בזוית מסוימת ניתן לראות אותה. בצילום רגיל העץ מסתיר את המכונית.

ניתן להעתיק את ההולוגרמות כמו ברשמקול (טייפ) ולקבל מספר עותקים. כמו כן על אותה הולוגרמה אפשר לצלם מספר תמונות ולשמור אותן בו זמנית. את צילום התמונות עושים ממרחק שונה או בצבע שונה, כך התמונות אינן מתערבבות. כל תמונה נראית בזוית אחרת.

בעתיד טלויזיה תהיה עם מסך הולוגרמה. מקור אור המאיר על המסך יהיה לייזר או שלושה לייזרים בשלושה צבעים ליצירת דמות צבעונית. מסך הולוגרמה צריך להיות בגודל 10 מ"ר (בערך קיר בסלון).

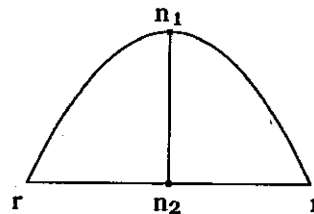
6.2 סיבים אופטיים

סיבים אופטיים – Fiber optics – הם חוטי זכוכית אשר מעבירים מידע בצורת אור.
סיבים אופטיים יכולים להחליף חוטים חשמליים ויש להם הרבה יתרונות עליהם.
עקרון פעולה של סיבים אופטיים מבוסס על החזרה גמורה (עמ' 19). התנאי הראשון להחזרה גמורה הוא: מקדם השבירה של סביבה ראשונה צריך להיות גדול מזה של הסביבה השניה, כמו מעבר מזכוכית לאויר ולא להפך. בהתאם לתנאי זה מייצרים את גרעין הסיב בעל מקדם שבירה n_1 ומסביב בונים נרתיק בעל מקדם שבירה n_2 כך ש $n_1 > n_2$.



חתך הסיב

אור נכנס לתוך הגרעין, מוחזר בהחזרה גמורה מהנרתיק הרבה פעמים ויוצא בקצה השני של הסיב האופטי. קרניים בודדות, אשר פוגעות בזויות קטנות מזוית קריטית, הולכות לאיבוד, עם זאת הפסד בסיבים אופטיים קטן מההפסד בחוטי חשמל.
קוטר הסיב קטן מאד – $\approx 50\ \mu m$, בד"כ מרכזים מספר גדול של סיבים אופטיים בכֶבֶל אחד. למרחקים גדולים מחברים סיבים ליצירת קו התקשורת ארוך.
כדי לשפר את איפיוני הסיבים מיוצר גרעין בעל מקדם שבירה משתנה. על ציר הסיב ערכו של מקדם שבירה מירבי n_1, והוא יורד בהדרגה עד שבגבול גרעין עם נרתיק n_1 משתווה עם n_2.



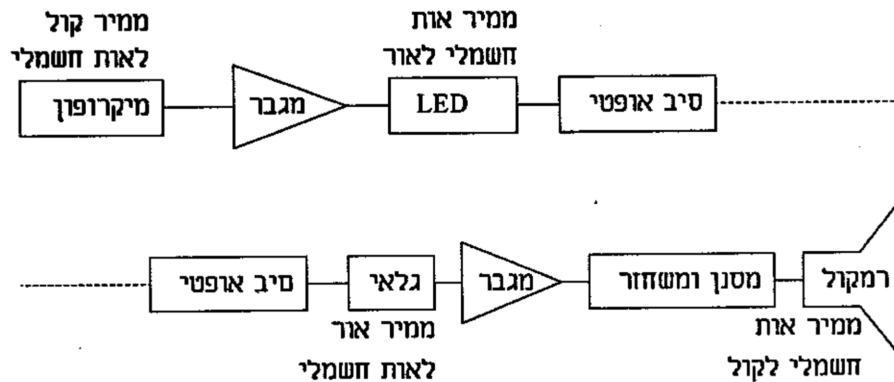
יתרונות של סיבים אופטיים על כבל חשמלי

1. בסיבים אין צורך בהארקה, בבידוד חשמלי, אין סיכון לקצר או נתק חשמלי, אין רעשים חשמליים – כל זה מקנה קו תקשורת פשוט יותר וזול יותר.
2. קוטר הסיב קטן מאד לעומת חוט חשמלי, המשקל קטן יותר.
3. רוחב סרט של סיב גדול יותר לעומת חוט חשמלי – משמעותו של דבר שבסיב אופטי ניתן לשלוח הרבה יותר שיחות טלפון או מידע אחר בבת אחת.
4. בסיבים אופטיים יש פחות הפסדים – פרוש הדבר: בקו תקשורת ארוך אפשר להשתמש במגברים בכמות קטנה יותר (בערך פי 50).

5. ניתן לאפנן אות אור (לתת צופן כדי להכיר אותו בין יתר האותות). אות חשמלי ניתן לאיפנון על-ידי שינוי משרעת או תדר, אות אור ניתן לאפנן גם לפי קיטוב.

6. לא ניתן לצותת למידע הנמסר בסיבים לעומת כבל חשמלי - תכונה חשובה למטרות של שמירה על סודיות מידע מסחרי, תעשייתי, צבאי, מודיעיני ועוד.

מערכת תקשורת עם סיבים אופטיים (טלפון)



תשובות ופתרונות

פרק 1 גלים

.1 $y = 0.01 \cdot \sin(2\pi \cdot 10\,t + \frac{2\pi}{0.005} \cdot x) = 0.01 \cdot \sin(20\pi t + 400\pi x)$

.2 $y = 0.02 \cdot \sin(20{,}000\pi t + 44.4\pi x)$

$\lambda = v \cdot T = 450 \cdot 10^{-4} =$ 0.045 מ'

$y = 0.02 \cdot \sin(\frac{2\pi}{10^{-4}} \cdot t + \frac{2\pi}{0.045} \cdot x) = 0.02 \cdot \sin(2 \cdot 10^{4}\,\pi t + 44.4\pi x)$

.3 $\lambda =$ 2.3 מ', $f = 60$ Hz, $T = 17$ msec, $A =$ 80 ס"מ, $v =$ 138 מ'/שנ'.

$\lambda =$ 2.3 מ' $\quad \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{7\pi}{8} \quad f = 60\text{ Hz} \quad 2\pi f = 120\pi \quad T = \frac{1}{f} = 17\text{ msec}$

$v = \lambda \cdot f = 2.3 \cdot 60 =$ 138 מ'/שנ'

.4 $\triangle f = 0$, מהירות קטנה פי 1.3.

תדירות לא משתנה. $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2 \cdot f}{\lambda_1 \cdot f} = \frac{0.6583}{0.5064} = 1.3$

.5 $\lambda =$ 6.6 מ'

$\lambda = \frac{v}{f} =$ 6.6 מ'

.6 $A =$ 1.3 מ', $\lambda =$ 1 מ"מ, $T = 4$ msec.

$\lambda =$ 1 מ"מ $= 10^{-3}$ מ' $\quad \frac{2\pi}{\lambda} = 6283 \quad T = 4\text{ msec} \quad \frac{2\pi}{T} = 1571$

.7 $y = 0$

$y = 0.024 \cdot \sin(2\pi \cdot 100 \cdot 3 + \frac{2\pi \cdot 150}{5 \cdot 10^{-3}}) = 0.024 \cdot \sin 60600\pi = 0$

.8 $y = -$0.2 מ'

משוואת הגל: $y = 0.8 \cdot \cos(\frac{2\pi}{52 \cdot 10^{-6}} \cdot t + \frac{2\pi}{0.45 \cdot 10^{-2}} \cdot x)$

$y = 0.8 \cdot \cos\left[2\pi \cdot (\frac{2.28 \cdot 10^{6}}{52} + \frac{2.5 \cdot 10^{2}}{0.45})\right] = 0.8 \cdot \cos(2\pi \cdot 44401.709)$

נוציא זויות שלמות של 2π רדיאן: $y = 0.8 \cdot \cos(2\pi \cdot 0.709) = -0.2$
(הזוית ברדיאנים)

.9 $\lambda =$ 0.175 מ"מ

משוואת הגל: $0.558 = y = 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 500 \cdot 8 - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 0.7)$

$\lambda =$ 0.175 מ"מ $= 1.75 \cdot 10^{-4}$ מ' $\quad 2\pi \cdot 500 \cdot 8 - \frac{2\pi \cdot 0.7}{\lambda} = 0.592$

10. $\underline{T = 9.4\ msec}$

משוואת הגל: $y = 0.02 = 0.03 \cdot \sin(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi \cdot x}{850 \cdot 10^{-3}})$

$T = 9.4\ msec$ $\frac{2\pi}{T} \cdot 32 \cdot 10^{-3} - \frac{2\pi \cdot 2.8}{850 \cdot 10^{-3}} = 0.7297276$

11. גל שני: $y = 2 \cdot \sin(287t + 1.4x)$. גל עומד: $y = 4 \cdot \sin 287t \cdot \cos 1.4x$.

12. $y = 0.3 \cdot \sin 230t \cdot \cos 5.5x$; $\lambda =$ 1.14 מ' ; $v =$ 42.2 מ/שנ' ; $f = 37\ Hz$

$\lambda =$ 1.14 מ' $\frac{2\pi}{\lambda} = 5.5$ $f = 37\ Hz$ $2\pi f = 230$

$v = \lambda \cdot f =$ 42.2 מ/שנ'

13. $v =$ 4450 מ/שנ'

באוויר: $t_1 = \frac{s}{v_א} =$ 3.24 שנ' בפלדה: $t_2 =$ 0.24 שנ'

$v_פ = \frac{s}{t_2} =$ 4450 מ/שנ'

14. $v = \frac{\lambda}{T} =$ 1435 מ/שנ'

15. $\underline{f = 812\ Hz}$

$f = \frac{v}{\lambda} = 812\ Hz$ $\lambda =$ 6.16 מ' $\frac{\lambda}{4} =$ 1.54 מ'

16. $\underline{\varphi = 180^o}$

מתאים להפרש מופע 180°: $\frac{\lambda}{2} =$ 25 ס"מ $\lambda = \frac{v}{f} =$ 0.5 מ'

17. $\underline{f = 425\ Hz}$

$f = \frac{v}{\lambda} = 425\ Hz$ מרחק בין שני צמתים הוא חצי גל, לכן: $\lambda =$ 80 ס"מ

18. פי 4.35

תדירות לא משתנה במעבר לסביבה אחרת, לכן: $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = 4.35$

19. 1 מ'.

$\lambda = \frac{v}{f} =$ 2 מ' מרחק בין נקודות עם הפרש מופע π רדיאן הוא: 1 מ' $= \frac{\lambda}{2}$

20. כן

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{447}{604} =$ 0.74 מ' $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{5}{25 \cdot 10^{-6}}} =$ 447 מ/שנ'

$2\lambda =$ 148 ס"מ כלומר ייווצרו גלים עומדים במיתר ותהיה תמונה של 2λ.

21. כן

37 ס"מ = $\frac{\lambda}{2}$ ייווצרו גלים עומדים, תהיה תמונה של חצי אורך גל.

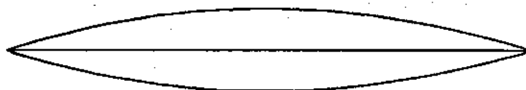
22. $T =$ 0.09 נ'

מתיחות מירבית יוצרת תמונה של חצי גל. $\lambda =$ 1.1 מ' 55 ס"מ $= \frac{\lambda}{2}$

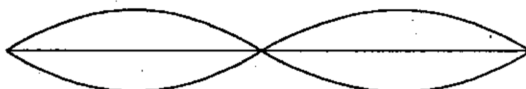
$T = \rho \cdot v^2 = \rho \cdot \lambda^2 \cdot f^2 = 3 \cdot 10^{-5} \cdot 1.1^2 \cdot 50^2 =$ 0.09 נ'

23. $T_1 =$ 0.864 נ'. $T_2 =$ 0.216 נ'. $T_3 =$ 0.096 נ'. $T_4 =$ 0.054 נ'.

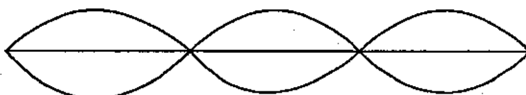
ליצירת חצי גל: $T_1 = \rho \cdot f^2 \cdot \lambda_1^2 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \cdot 1.2^2 =$ 0.864 נ'



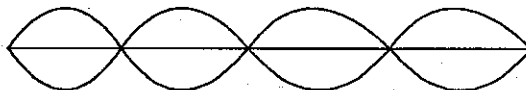
ליצירת גל שלם: $T_2 = \rho \cdot f^2 \cdot \lambda_2^2 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \cdot 0.6^2 =$ 0.216 נ'



ליצירת גל וחצי: $T_3 = \rho \cdot f^2 \cdot \lambda_3^2 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \cdot 0.4^2 =$ 0.096 נ'



ליצירת שני גלים: $T_4 = \rho \cdot f^2 \cdot \lambda_4^2 = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \cdot 0.3^2 =$ 0.054 נ'



24. $v =$ 1000 מ/שנ'

$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{20}{2 \cdot 10^{-5}}} = 10^3$ מ/שנ'

25. $\rho =$ 0.0002 ק"ג/מ'

1 מ' $= 2.5\lambda$ לכן $\lambda =$ 0.4 מ' 20 מ/שנ' $= v = \lambda \cdot f = 0.4 \cdot 50$

$\rho = \frac{T}{v^2} = \frac{0.08}{400} = 2 \cdot 10^{-4}$ ק"ג/מ'

26. $f = 128\ Hz$

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{57.7}{0.45} = 128\ Hz$ $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{0.1}{3 \cdot 10^{-5}}} =$ 57.7 מ/שנ'

27. <u>λ קטן פי $\sqrt{2}$</u>

$\lambda^2 = \frac{T}{\rho \cdot f^2}$ $\quad v = \lambda \cdot f = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ אם ρ גדל פי 2, λ קטן פי $\sqrt{2}$.

28. <u>יש לשנות מתיחות.</u>

29. <u>מהירות אינה משתנה.</u>

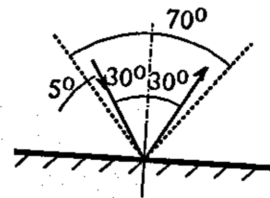
מהירות הגל תלויה רק במתיחות המיתר וצפיפותו ליחידת האורך. שינוי תדירות גורם לשינוי אורך הגל, כך שהמהירות אינה משתנה. $v = \lambda \cdot f$

30. מהירות הסירה משתווה למהירות הגלים במים.

31. בצמיג ייווצרו גלים בעלי משרעת גדולה וזה עלול לקרוע את הצמיג.

2.1 החזרת האור

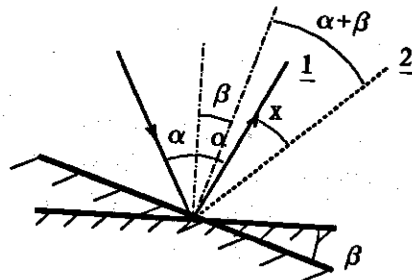
32. ב 5^o



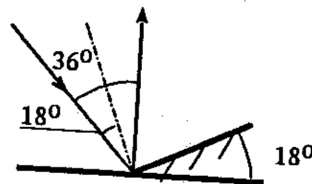
33. 2β

זוית הפגיעה החדשה - $(\alpha + \beta)$

$x = (\alpha + \beta) - (\alpha - \beta) = 2\beta$



34. ב 18^o



35. $\varphi = 180^o - 2\alpha$

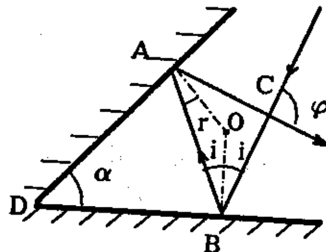
$\angle B0A = 180^o - \alpha$ - סכום זוית במרובע ADBO.

בתוך $\triangle AOB$: $180^o - \alpha = 180^o - (r + i)$

מכאן $\alpha = r + i$

בתוך $\triangle ABC$: $\varphi = C = 180^o - (2r + 2i)$

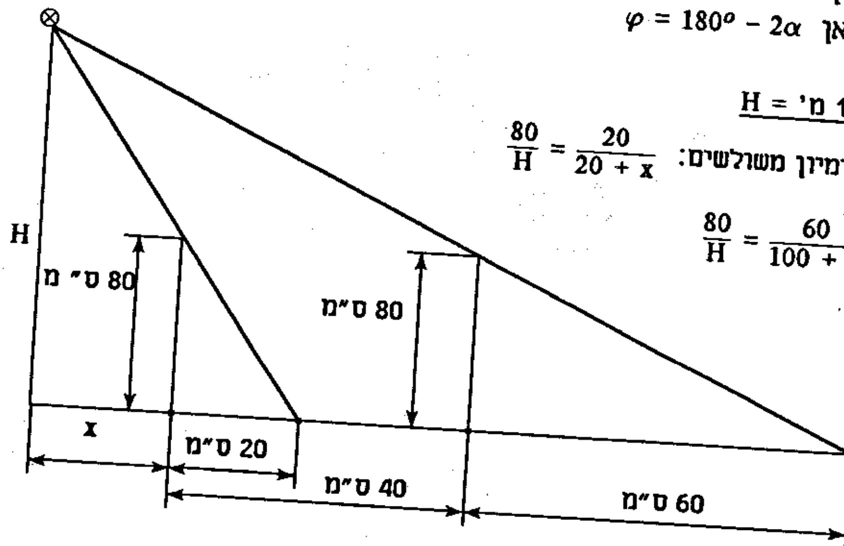
מכאן $\varphi = 180^o - 2\alpha$



36. $H = 1.6$ מ'

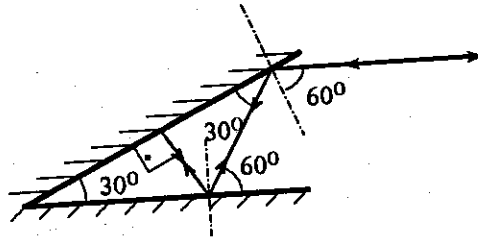
מדמיון משולשים: $\frac{80}{H} = \frac{20}{20 + x}$

$$\frac{80}{H} = \frac{60}{100 + x}$$



$\frac{20}{20+x} = \frac{60}{100+x}$ מכאן $x = 20$ ס"מ וכתוצאה $H = 1.6$ מ'

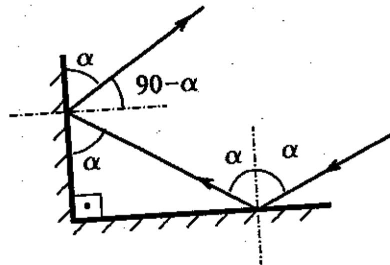
37. קרן יוצאת באותה דרך שנכנסה.



38. 22^o

כאשר המראה מסתובבת בזוית 20°, הקרן המוחזרת זזה בזוית 40° (ראה בעיה 33). לכן הזוית ההחזרה הראשונה היתה $62^o - 40^o = 22^o$, כמו כן גם זוית הפגיעה (לפי חוק החזרה).

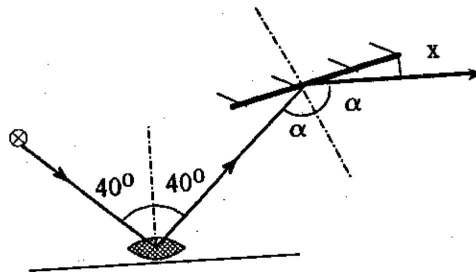
39. $2\alpha + 2 \cdot (90^o - \alpha) = 180^o$



40. 25^o

$2\alpha + 50^o = 180^o$ (כזוויות פנימיות)

$\alpha = 65^o \quad x = 25^o$



.41 $\underline{24^o}$

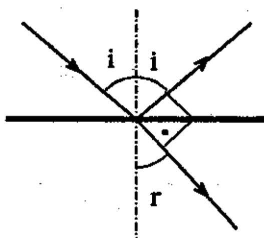
.42 $\underline{47^o}$

.43 $\underline{23^o}$

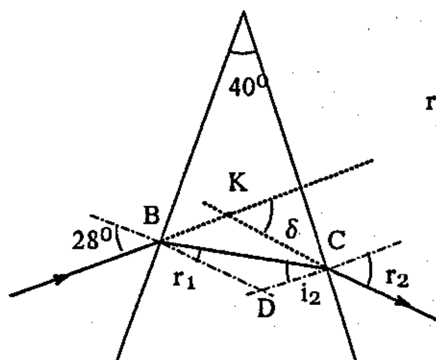
.44 $\underline{32^o}$

.45 $\underline{n = \tan i}$

$$i + r = 90^o \qquad n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i}{\sin(90^o - i)} = \frac{\sin i}{\cos i} = \tan i$$



.46 $\underline{\delta = 22^o;\ r_2 = 34^o}$



א. $r_1 = 18^o \qquad \frac{\sin 28^o}{\sin r_1} = 1.5$

ב$\triangle BCD$: $r_1 + i_2 = 180^o - 140^o = 40^o$

$i_2 = 40^o - 18^o = 22^o$

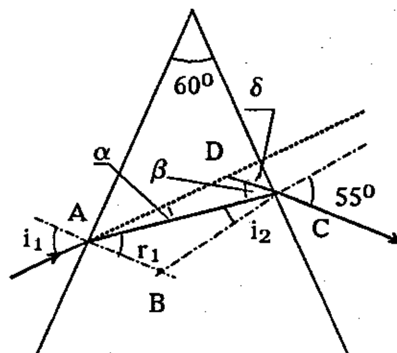
$r_2 = 34^o \qquad \frac{\sin i_2}{\sin r_2} = \frac{1}{1.5}$

ב. ב$\triangle BKC$: $\measuredangle B = 28^o - 18^o = 10^o$

$\measuredangle C = 34^o - 22^o = 12^o$

$\delta = 10^o + 12^o = 22^o$ – זוית חיצונית.

.47 $\underline{\delta = 35^o;\ i_1 = 40^o}$



בשבירה שניה: $i_2 = 34^\circ \qquad \frac{\sin i_2}{\sin 55^o} = \frac{1}{1.48}$

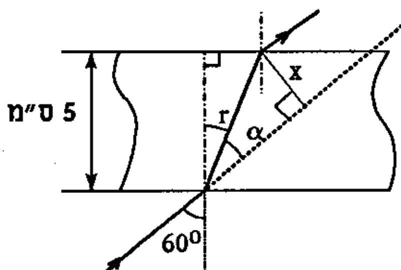
ב$\triangle ABC$: $r_1 = 180^o - 34^o - 120^o = 26^\circ$

בשבירה ראשונה: $i_1 = 40^o \qquad \frac{\sin i_1}{\sin 26^o} = 1.48$

$\alpha = i_1 - r_1 = 14^o$;$\beta = 55^o - 34^o = 21^o$

$\delta = \alpha + \beta = 35^o$ – זוית חיצונית.

48. $x = 2.6$ ס"מ



$$\frac{\sin 60^o}{\sin r} = 1.5 \qquad r = 35^o$$

$$\alpha = 60^o - 35^o = 25^o$$

$$x = \frac{5}{\cos 35^o} \cdot \sin 25^o = 2.6 \text{ ס"מ}$$

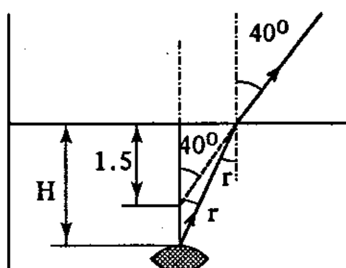
49. $d = 29.7$ מ"מ

ציור בבעיה 48. $\alpha = 40^o - 26^o = 14^o \qquad r = 26^o \qquad \frac{\sin 40^o}{\sin r} = 1.45$

$$d = \frac{8}{\sin 14^o} \cdot \cos 26^o = 29.7 \text{ מ"מ}$$

50. $H = 2.2$ מ'

$$H = \frac{1.5}{\tan 30^o} \cdot \tan 40^o = 2.2 \text{ מ'} \qquad r = 30^o \qquad \frac{\sin 40^o}{\sin r} = 1.3$$

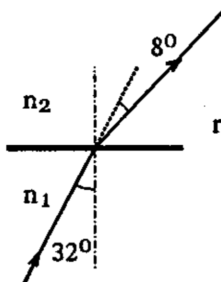


51. $x = 21.5$ ס"מ (הציור בבעיה 50)

$$x = \frac{40 \cdot \tan 43^o}{\tan 60^o} = 21.5 \text{ ס"מ} \qquad r = 43^o \qquad \frac{\sin 60^o}{\sin r} = 1.26$$

52. ג

53. $n = 1.6 \; ; \; r = 40^o$



$$n_1 = 1.6 \qquad \frac{\sin 32^o}{\sin 40^o} = \frac{1.3}{n_1} \qquad r = 32^o + 8^o = 40^o$$

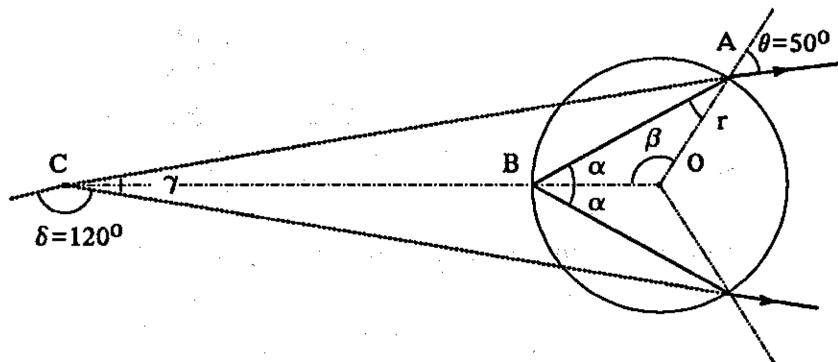
54. $n = 1.2$

$$\gamma = 180^o - \delta = 60^o$$

ב $\triangle OAC$: $\beta = 180^o - \theta - \frac{\gamma}{2} = 180^o - 50^o - 30^o = 100^o$

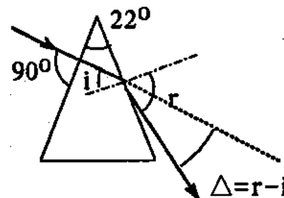
$\triangle AOB$ – שווה-שוקיים (רדיוסים של הטיפה), לכן $r = \alpha = \frac{180^o - \beta}{2} = 40^o$

$$n = \frac{\sin\theta}{\sin r} = \frac{\sin 50^o}{\sin 40^o} = 1.2$$



.55 $\underline{\Delta = 42^o}$

$$\frac{\sin 22^o}{\sin\ r} = \frac{1}{2.4} \quad r = 64^o \quad r - i = 64^o - 22^o = 42^o$$



.56 ד

.57 $\underline{f = 5 \cdot 10^{14}\ Hz\ ;\ \lambda_1 = 4000\ Å\ ;\ \lambda_2 = 2400\ Å}$

תדירות לא משתנה במעבר לסביבה אחרת, לכן באויר:

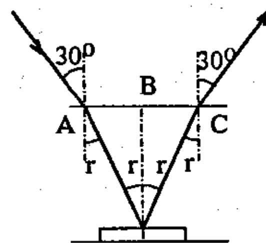
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 5 \cdot 10^{14}\ Hz$$

מהירות האור בזכוכית: $v_1 = \frac{c}{n_1} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.5} = $ $2 \cdot 10^8$ מ/שנ'

$$\lambda_1 = \frac{v}{f} = \frac{2 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 4000\ Å$$

מהירות האור בציפוי: $v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.5} = $ $1.2 \cdot 10^8$ מ/שנ'

$$\lambda_2 = \frac{v_2}{f} = \frac{1.2 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 2400\ Å$$



.58 1 מ'

$$\frac{\sin 30^o}{\sin r} = 1.3 \quad r = 23^o$$

$AB = h \cdot \tan r = $ 0.5 מ' $\quad AC = $ 1 מ'

.59 $\underline{n = 2}$

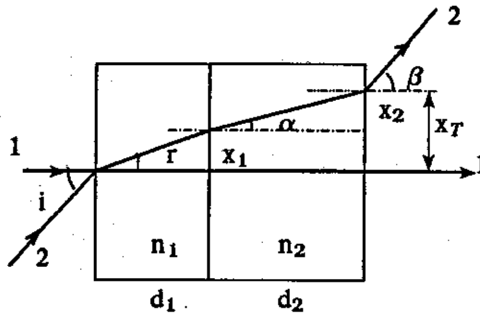
$CA = 2d \cdot \tan r = 2 \cdot 5 \cdot \tan r = 2.5$ (תרשים בבעיה 58).

$$r = 14^o \qquad n = \frac{\sin 30^o}{\sin 14^o} = 2$$

.60 $\underline{0^o\ ;\ 45^o\ ;\ x = 5.5}$ ס"מ

א. $\sin\alpha = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin r \qquad \frac{\sin r}{\sin\alpha} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \sin i = n_1 \cdot \sin r$

$$i = \beta \qquad \sin\beta = n_2 \cdot \sin\alpha = n_2 \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin r = n_1 \cdot \sin r$$



ב. $r = 30^o \qquad \sin r = \frac{\sin i}{n_1}$

$x_1 = d_1 \cdot \tan r =$ 2.3 ס"מ

$\frac{\sin r}{\sin\alpha} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \alpha = 24^o$

$x_2 = d_2 \cdot \tan\alpha =$ 3.2 ס"מ

$x_T =$ 5.5 ס"מ

.61 $\underline{n = 1.65}$

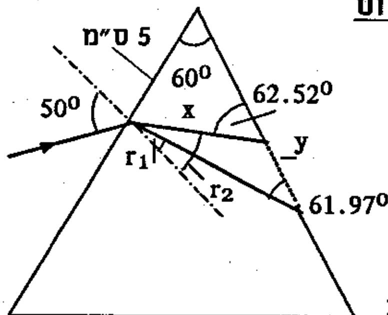
$$n = \frac{\sin\frac{60+51}{2}}{\sin\frac{60}{2}} = 1.65$$

.62 $\underline{A = 45^o}$

$$1.44 = \frac{\sin\frac{A+22}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \qquad 1.44 \cdot \sin\frac{A}{2} = \sin\frac{A}{2} \cdot \cos 11^o + \sin 11^o \cdot \cos\frac{A}{2}$$

$$0.46 \cdot \sin\frac{A}{2} = 0.19 \cdot \cos\frac{A}{2} \qquad \tan\frac{A}{2} = 0.41 \qquad A = 45^o$$

ספקטרום



.63 $\underline{y = 0.053}$ ס"מ

$\frac{\sin 50^o}{\sin r_1} = 1.4248 \qquad r_1 = 32^o52$

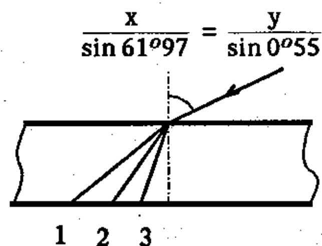
$\frac{\sin 50^o}{\sin r_2} = 1.4467 \qquad r_2 = 31^o97$

$\Delta = r_1 - r_2 = 0.55^o$

לפי משפט סינוסים: $\frac{5}{\sin 62^o52} = \frac{x}{\sin 60^o}$

$x =$ 4.88 ס"מ

במשולש הקטן: $y = 0.053$ ס"מ $\frac{x}{\sin 61^o97} = \frac{y}{\sin 0^o55}$



.64 <u>1 - אדום, 2 - צהוב, 3 - ירוק</u>

.65 <u>$\Delta v = 27 \cdot 10^5$ מ/שנ'</u>

$v_{ס} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.53} = 1.96 \cdot 10^8$ מ/שנ' $\quad n = \frac{c}{v}$

$\Delta v = 27 \cdot 10^5$ מ/שנ' $\quad v_{א} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.51} = 1.987 \cdot 10^8$ מ/שנ'

.66 <u>$n = 1.33$</u>

$f = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8}{59 \cdot 10^{-8}} = 5 \cdot 10^{14}$ Hz

$v_{מים} = \lambda_2 \cdot f = 442 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{14} = 2.25 \cdot 10^8$ מ/שנ'

$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.2 \cdot 10^8} = 1.33$

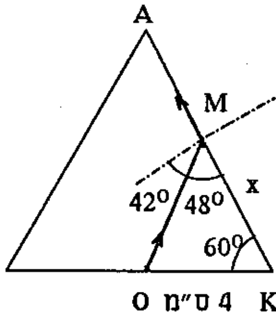
.67 אם מסתכלים דרך פילטר אדום, גם הנייר גם האותיות יהיו אדומים לכן לא ניתן לקרוא. כדי לקרוא "מצויין", יש להשתמש בפילטר ירוק, כי אז על הנייר הירוק נראה אותיות שחורות. בהתאם, כדי לקרוא "טוב", יש להשתמש בפילטר אדום.

2.4 החזרה גמורה

68. א. 50^o ב. 42^o ג. 40.5^o ד. 24.6^o

69. $x =$ 3 ס"מ

נקודה M היא אחרונה שהקרניים עדיין יוצאות מהמנסרה. מעל לנקודה M מתרחשת החזרה גמורה. זוית הפגיעה בנקודה M היא זוית קריטית:



$i_c = 42^o$ $\sin i_c = \frac{1}{n}$ ב $\triangle OMK$:

$\measuredangle K = 60^o, (42^o$ משלימה ל$) - \measuredangle M = 48^o$

$\measuredangle O = 180^o - 48^o - 60^o = 72^o$

לפי משפט סינוסים: $\frac{4}{\sin 48^o} = \frac{x}{\sin 72^o}$

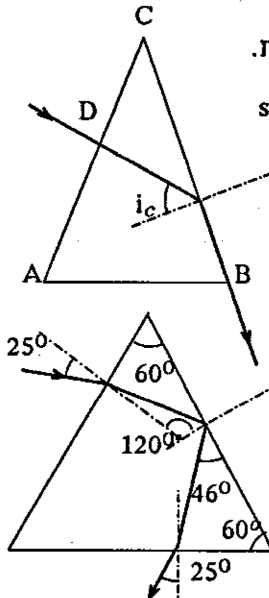
$AM = 8 - 5 =$ 3 ס"מ $x =$ 5 ס"מ

70. $A = 24.6^0$

קרן לא תצא בדופן השניה אם היא פוגעת בזוית קריטית.

$A = i_c = 24.6^o$ $i_c = 24.6$ $\sin i_c = \frac{1}{2.4}$

(זויות עם צלעות מאונכות)



71. $r_3 = 25^o$

$r_1 = 16^o$ $\frac{\sin 25^o}{\sin r_1} = 1.5$

זוית הפגיעה בדופן השניה:

$180^o - 16^o - 120^o = 44^o$

לגבי זכוכית $- \ i_c = 42^o$

לכן מתרחשת החזרה גמורה.

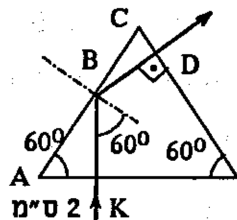
זוית הפגיעה בדופן השלישית:

$90^o - [180^o - 60^o - (90^o - 44^o)] = 16^o$ בדופן השלישית מהלך הקרניים הפוך לזה שבדופן הראשונה, לכן הקרן תצא בזוית 25^o.

72. ד

73. $x =$ 3 ס"מ

בדופן ראשונה אין שבירה כי זוית הפגיעה היא 0^o. זוית הפגיעה בדופן השניה – 60^o. זוית קריטית של המנסרה: $i_c = 39^o$ $\sin i_c = \frac{1}{1.6}$, לכן מתרחשת החזרה גמורה. בדופן השלישית הקרן פוגעת במאונך ויוצאת בלי שבירה.



$AB = \frac{2}{\cos 60^o} = 4$ ס"מ

$BC = 10 - 4 = 6$ ס"מ

$CD = BC \cdot \cos 60^o = 3$ ס"מ

.74 $\underline{n_2 = 1.43}$

$n_2 = 1.43 \qquad \sin 60^o = \frac{n_2}{1.65} \qquad i_c \le 60^o$

.75 $\underline{i_{max} = 9.6^o}$

מצב הסף כשהקרן לא תצא מהדופן השניה הוא מצב של זוית קריטית.

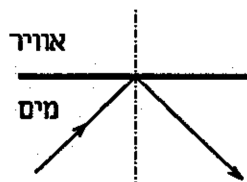
$\sin i_c = \frac{1}{n} \qquad i_c = 39^o$

$r = 180^o - 135^o - 39^o = 6^o$

$\frac{\sin i}{\sin 6^o} = 1.6 \qquad i_{max} = 9.6^o$

.76 $\underline{v = 1.92 \cdot 10^8}$ מ/שנ'

$v = \frac{3 \cdot 10^8}{1.56} = 1.92 \cdot 10^8$ מ/שנ' $\qquad n = \frac{c}{v} \qquad n = 1.56 \qquad \sin 40^o = \frac{1}{n}$



.77 $\sin i_c = \frac{1}{1.3} \quad i_c = 50^o$

$56^o > 50^o$ – מתרחשת החזרה גמורה.

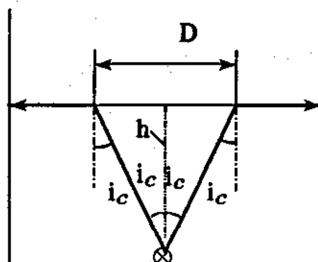
.78 <u>באוויר – 25^o ; במים – 33^o</u>

יהלום באויר: $i_c = 25^o \qquad \sin i_c = \frac{1}{n_d} = \frac{1}{2.4}$

יהלום במים: $i_c = 33^o \qquad \sin i_c = \frac{1.3}{2.4}$

.79 <u>$S = 1256.6$ סמ"ר</u>

$\sin i_c = \frac{1}{n} \qquad i_c = 37.5^o$



$D = 2 \cdot h \cdot \tan i_c$

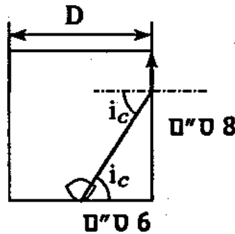
$D = 2 \cdot 26 \cdot \tan 37.5^o = 40$ ס"מ

$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1256.6$ סמ"ר

80. $H = $ 8 מ'

(תרשים בבעיה 79) $\quad S = \frac{\pi D^2}{4} \quad i_c = 50^o \quad \sin i_c = \frac{1}{1.3}$

$H = $ 8 מ' $\quad S = \frac{\pi \cdot (4H^2 \cdot \tan^2 50^o)}{4} \quad D = 2H \cdot \tan 50^o$



81. $n = 1.25$; $h = $ 7 ס"מ

א. $n = \frac{1}{\sin 53^o} = 1.25 \quad i_c = 53^o \quad \tan i_c = \frac{8}{6}$

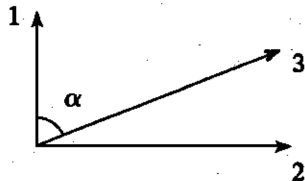
ב. לגבי מים $i_c = 50^o \quad h = 6 \cdot \tan 50^o = $ 7 ס"מ

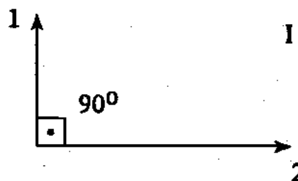
2.6 קיטוב האור

82. לשני מקטבים: $I = I_0 \cdot \cos^2 90^o = 0$

לשלושה מקטבים: $I = I_0 \cdot \cos^2\alpha \cdot \cos^2(90^o - \alpha) = I_0 \cdot \sin^2\alpha \cdot \cos^2\alpha$

$I = \frac{I_0}{4} \cdot \sin^2 2\alpha \neq 0$





83. 10 נרות

$I = I_0 \cdot \cos^2\alpha$

84. 5.5 נרות

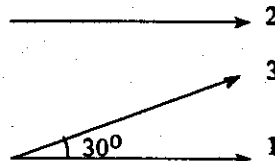
$$I_0 = \frac{I}{\cos^2\alpha \cdot \cos^2\beta} = \frac{2}{\cos^2 20^o \cdot \cos^2 50^o} = 5.5$$

85. $\beta = 30^o$

$\beta = 30^o \quad \frac{I}{I_o} = \cos^2\alpha \cdot \cos^2\beta = \frac{1}{3} \cdot \cos^2\beta \quad \alpha = 55^o \quad \frac{I}{I_o} = \cos^2\alpha = \frac{1}{3}$

86. פי 1.8

$\frac{I}{I_o} = \cos^2 30^o \cdot \cos^2 30^o = \frac{1}{1.8} \quad \beta = 30^o \quad \alpha = 30^o$



87. $R = 3.8$ מ'

$$r_{10}^2 = 10 \cdot R \cdot \lambda \qquad R = \frac{(5 \cdot 10^{-3})^2}{10 \cdot 0.65 \cdot 10^{-6}} = 3.8 \text{ מ'}$$

88. $\lambda = 0.486\ \mu m$

$$\lambda = \frac{r^2}{m \cdot R} = \frac{2.7^2 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 2.5} = 0.486\ \mu m$$

89. $\Delta r = 0.49$ מ"מ

$$r = \sqrt{m \cdot R \cdot \lambda} \qquad \Delta r = \sqrt{m \cdot R \cdot \lambda_1} - \sqrt{m \cdot R \cdot \lambda_2} = 0.49 \text{ מ"מ}$$

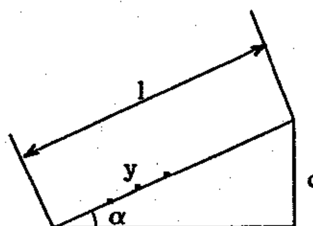
90. $\lambda_2 = 0.72\ \mu m$

מכיון שרדיוס הנמדד לא השתנה: $6\lambda_1 = 4\lambda_2$ $\qquad R = \frac{r_6^2}{6\lambda_1} = \frac{r_4^2}{4\lambda_2}$

91. $d = 30\ \mu m$

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{y} = \frac{6 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-3}} = 3 \cdot 10^{-4}$$

$$d = l \cdot \sin\alpha = \frac{1}{10} \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ מ'}$$



92. $\lambda = 0.8\ \mu m$

$$\sin\alpha = \frac{d}{l} = \frac{65 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-2}} = 8 \cdot 10^{-4} \qquad \lambda = y \cdot \sin\alpha = 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 0.8\ \mu m$$

93. $y_2 = 1.3$ מ"מ

$$\sin\alpha = \frac{\lambda_1}{y_1} = \frac{450 \cdot 10^{-9}}{0.8 \cdot 10^{-3}} = 5.6 \cdot 10^{-4} \qquad y_2 = \frac{\lambda_2}{\sin\alpha} = \frac{0.75 \cdot 10^{-6}}{5.6 \cdot 10^{-4}} = 1.3 \text{ מ"מ}$$

94. $d_2 = 40\ \mu m$

$$\lambda = y \cdot \sin\alpha \qquad \frac{d_1}{l} \cdot y_1 = \frac{d_2}{l} \cdot y_2 \qquad d_2 = \frac{d_1 \cdot y_1}{y_2} = \frac{10^{-5} \cdot 2.4 \cdot 10^{-3}}{0.6 \cdot 10^{-3}} = 40\ \mu m$$

95. $r_1 = 0.63$ מ"מ

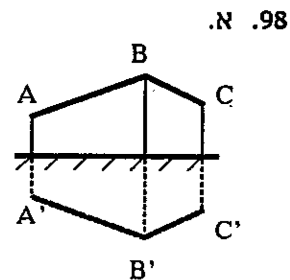
$$r_1 = \sqrt{R \cdot \lambda} = 6.3 \cdot 10^{-4}\ m = 0.63 \text{ מ"מ}$$

96. $m = 12$

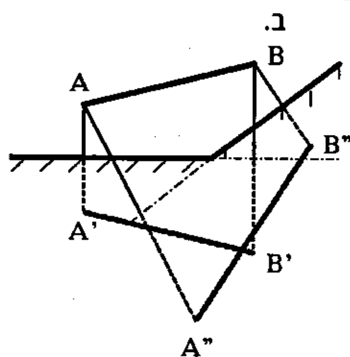
$$m = \frac{r^2}{R \cdot \lambda} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{0.5 \cdot 6775 \cdot 10^{-10}} = 12$$

3.1 מראות

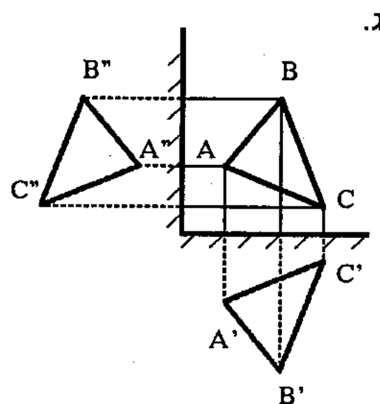
98. א.



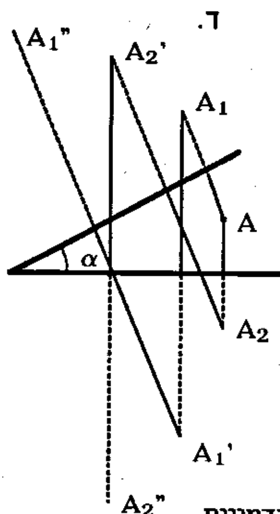
ב.



ג.

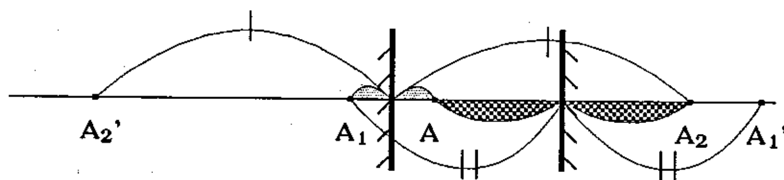


ד.



כמות הדמויות
תלויה בזוית α ובמיקום A מהקודקוד.

ה.

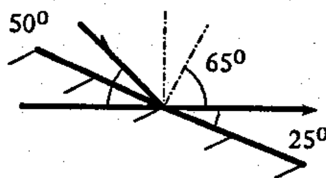


כמות הדמויות ∞.

99. <u>25^o</u>

הזוית בין הקרן הפוגעת ובין הקרן המוחזרת היא $180^o - 50^o = 130^o$.

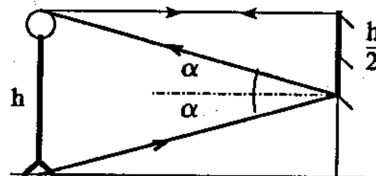
זוית הפגיעה: $\frac{130^o}{2} = 65^o$



זוית נטית המראה לאופק:

$90^o - 65^o = 25^o$

.100 $\underline{\frac{h}{2}}$

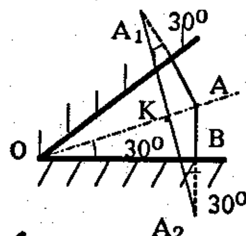


כדי לראות את עצמו בגובה מלא, הוא צריך לראות את הראש ואת הרגליים. הקרן, היוצאת מהראש, פוגעת במראה בזוית 0^o, לכן היא חוזרת באותה דרך. מכאן נקודה עליונה של המראה צריכה להיות בגובה הראש. קרניים מהרגליים פוגעות בזוית α ומוחזרות לעיניים. משווין משולשים רואים שנקודה תחתונה של המראה צריכה להיות בגובה $\frac{h}{2}$ של אדם. גודל המראה $\frac{h}{2}$.

.101 $\underline{7^o}$

זוית סטיית הקרן המוחזרת: $\alpha = 14^o$ $\tan\alpha = \frac{0.5}{2}$ אם המראה מסתובבת בזוית x, הקרן המוחזרת סוטה ב 2x (ראה בעיה 33 בעמ' 11). לכן זוית סטיית המראה היא 7^o.

.102 <u>8.66 ס"מ</u>

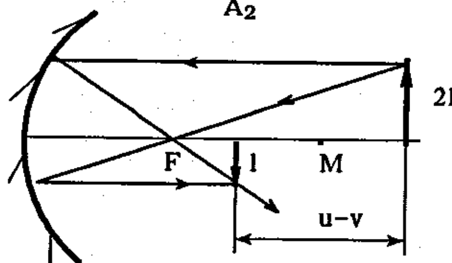


$AB = 5 \cdot \sin 30^o =$ 2.5 ס"מ

$AA_1 = AA_2 =$ 5 ס"מ

$A_1A_2 = 2AA_1 \cdot \cos 30^o =$ 8.66 ס"מ

.103 <u>f = 50 ס"מ</u>



$\frac{v}{u} = \frac{1}{2}$ $\quad u = 2v \quad u - v =$ 75 ס"מ

$v =$ 75 ס"מ $\quad u =$ 150 ס"מ

$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ $\quad f =$ 50 ס"מ

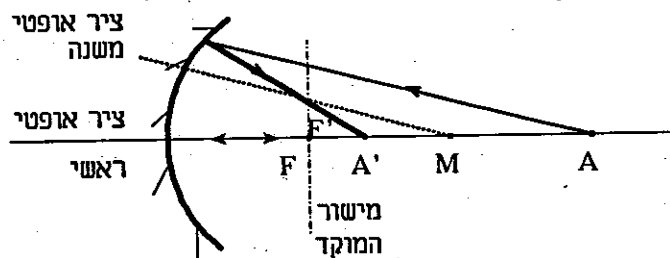
.104 <u>R = 50 ס"מ</u>

.105 <u>f = 54.5 ס"מ ; l' = 15 ס"מ</u>

השרטוט נמצא במקרה 3 עמ' 35. $\quad f =$ 54.5 ס"מ $\quad \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{600} + \frac{1}{60}$

$\frac{l'}{l} = \frac{v}{u}$ $\quad l' = \frac{150 \cdot 60}{600} =$ 15 ס"מ

106. כדי לבנות דמות של נקודה על ציר אופטי ראשי נשלח קרן כלשהי לכיוון המראה. דרך מרכז M מעבירים ציר אופטי משנה המקביל לקרן. נקודת המפגש של ציר אופטי משנה עם מישור המוקד זוהי נקודת מוקד משנה 'F. הקרניים, הפוגעות במראה במקביל לציר אופטי משנה, מוחזרות דרך מוקד משנה. הקרן השניה זהו ציר אופטי ראשי, כי הוא עובר דרך מרכז, לכן הקרן מוחזרת באותה דרך. כתוצאה ממפגש של הקרן המוחזרת דרך מוקד משנה עם ציר אופטי ראשי 'A – זוהי דמות של נקודה A.



107. $H = 2.3$; u = 21.4 ס"מ

$f = \frac{R}{2} =$ 15 ס"מ $\quad \frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{15} - \frac{1}{50}$ $\quad$ u = 21.4 ס"מ $\quad H = \left|\frac{v}{u}\right| = 2.3$

108. לא ניתן לראות. 18 ס"מ = 'l. דמות מדומה, ישרה ומוגדלת.

$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$ $\quad$ $u < f$ לכן דמות מדומה ולא ניתן לראותה על המסך

v = −22.5 ס"מ $\quad \frac{l'}{l} = \left|\frac{v}{u}\right|$ $\quad l' = \frac{8 \cdot 22.5}{10} =$ 18 ס"מ

בניית הדמות – מקרה 6 בעמ' 36.

109. $H = 1$; דמות ממשית, הפוכה ושווה

$u = 2f = R$ $\quad$ בניית הדמות – מקרה 4 בעמ' 36.

110. 30 ס"מ = v. דמות ממשית, הפוכה ומוגדלת. $H = 1.5$

$f = \frac{R}{2} =$ 12 ס"מ $\quad \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$ $\quad$ v = 30 ס"מ $\quad H = \left|\frac{v}{u}\right| = 1.5$

בניית דמות – מקרה 5 בעמ' 36.

111. $v_2 =$ 20.8 ס"מ

$\frac{1}{f} = \frac{1}{12} + \frac{1}{24}$ $\quad$ f = 8 ס"מ $\quad$ $u_2 =$ 13 ס"מ $\quad \frac{1}{v_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u_2}$ $\quad$ $v_2 =$ 20.8 ס"מ

112. R = 100.8 ס"מ

$\frac{2}{R} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{18} + \frac{1}{-28}$ $\quad$ R = 100.8 ס"מ

113. א. פנים הפוכות. (מקרה 3 עמ' 35)

ב. פנים ישרות ומוגדלות (מקרה 6 עמ' 36)

114. $v = 120$ ס"מ

$v = 120$ ס"מ $\quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{3v} + \frac{1}{v} = \frac{1}{90} \quad u = 3v \quad \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{1}{3} \quad f = 90$ ס"מ

115. $f = 90$ ס"מ

$v_2 = 2u_2 \qquad \frac{v_2}{u_2} = 2 \qquad v_1 = 3u_1 \qquad \frac{v_1}{u_1} = 3$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u_2} + \frac{1}{v_2} = \frac{1}{u_2} + \frac{1}{2u_2} = \frac{3}{2u_2} \qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{3u_1} = \frac{4}{3u_1}$$

$f = \frac{3u_1}{4} = 90$ ס"מ $\qquad u_1 = 120$ ס"מ $\qquad \frac{4}{3u_1} = \frac{3}{2 \cdot (u_1 + 15)}$

116. א

117. $u_2 = 15$ ס"מ ; $u_1 = 37.5$ ס"מ

$u_1 = 37.5$ ס"מ $\quad \frac{1}{u_1} + \frac{1}{4u_1} = \frac{5}{4u_1} = \frac{1}{30} \quad v_1 = 4u_1 \quad \left|\frac{v_1}{u_1}\right| = 4$

$u_2 = 15$ ס"מ $\quad \frac{1}{u_2} + \frac{1}{-2u_2} = \frac{1}{2u_2} = \frac{1}{30} \quad v_2 = 2u_2 \quad \left|\frac{v_2}{u_2}\right| = 2$

בניית דמות – מקרה 5 ו 6 בעמ' 36.

118. $f = 120$ ס"מ

$v = 2 \cdot (60 + f) \qquad u = 60 + f \qquad \left|\frac{v}{u}\right| = 2$

$f = 120$ ס"מ $\quad 3f = 120 + 2f \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{60 + f} + \frac{1}{2 \cdot (60 + f)} = \frac{3}{2 \cdot (60 + f)}$

119. מראה קעורה. $R = 41.7$ ס"מ

דמות מתקבלת על המסך, כלומר היא ממשית, לכן המראה היא קעורה. במראה קמורה מקבלים דמות מדומה בלבד.

$R = 41.7$ ס"מ $\quad \frac{1}{25} + \frac{1}{125} = \frac{2}{R} \quad v = 125$ ס"מ $\quad \left|\frac{v}{u}\right| = 5$

בניית הדמות – מקרה 5 עמ' 36.

120. $v = -6$ ס"מ

$v = -6$ ס"מ $\quad \frac{1}{v} = \frac{2}{R} - \frac{1}{u} = \frac{2}{-24} - \frac{1}{12}$ $\quad$ בניית הדמות – עמ' 37.

121. $u = 30$ ס"מ. דמות מדומה, מוקטנת וישרה.

$u = 30$ ס"מ $\quad \frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{-15} - \frac{1}{-10}$

122. $l = 4$ ס"מ

$u = 10$ ס"מ $\quad \frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{-10} - \frac{1}{-5} \quad f = \frac{R}{2} = -10$ ס"מ

$l = \frac{u \cdot l'}{v} = \frac{10 \cdot 2}{5} = 4$ ס"מ $\quad H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{l'}{l}$

123. $R = -33$ ס"מ

$u = -95$ ס"מ (מינוס – בגלל שהמרחק נמצא מאחורי המראה).

$R = -33$ ס"מ $\quad \frac{2}{R} = \frac{1}{-95} + \frac{1}{-20}$

124. $H = 0.44$; $v = -2.2$ ס"מ

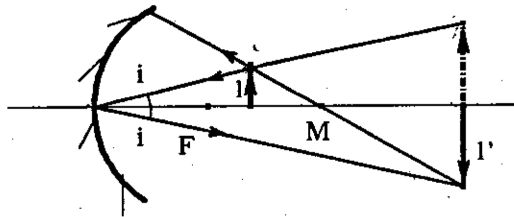
$H = \left|\frac{v}{u}\right| = 0.44 \quad v = -2.2$ ס"מ $\quad \frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{-4} - \frac{1}{5} \quad f = -4$ ס"מ

בניית הדמות – עמ' 37.

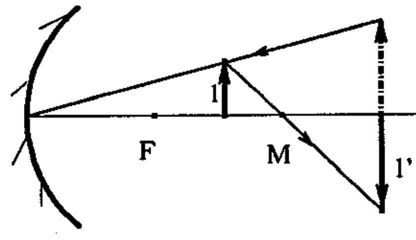
125. ג

126. לפתרון בעיות מסוג זה יש להיעזר בשתי קרניים ידועות:

1. הקרן המחברת קצוות של עצם ודמות. היא עוברת תמיד דרך מרכז עקמומיות M.
2. מכיוון שזווית הפגיעה שווה לזווית ההחזרה, ניתן לראות לפי הציור שאם נהפוך את הדמות, הקרן, העוברת דרך קצה העצם וקצה הדמות ההפוכה, חותכת ציר אופטי ראשי במקום שהמראה נמצאת בו.

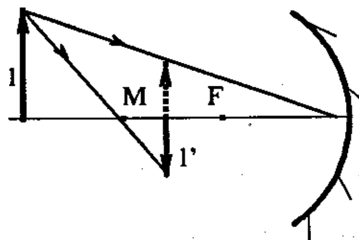


א.



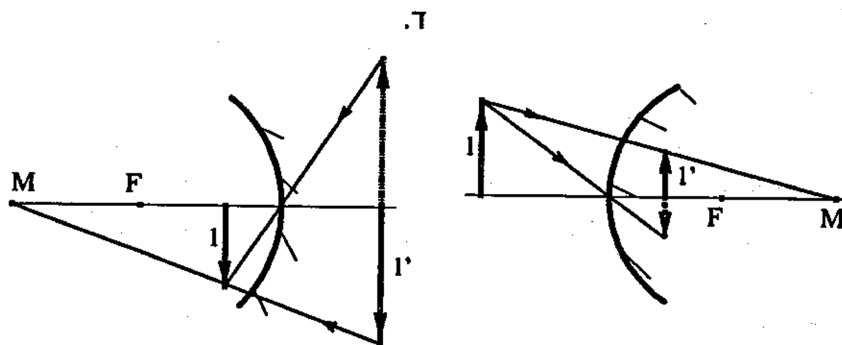
הדמות הפוכה, לכן המראה קעורה

ב.



מראה קעורה (מאותה סיבה)

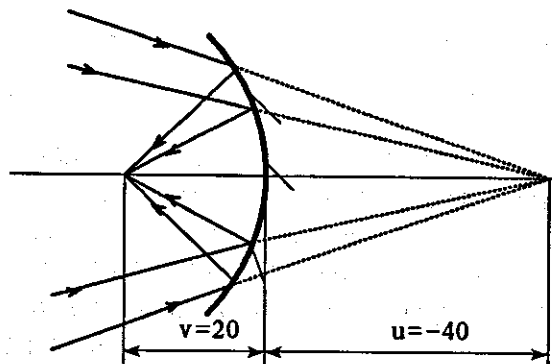
ג.   ד.



דמות ישרה ומוקטנת – מראה קמורה   דמות ישרה ומוגדלת – מראה קעורה

127. v = 20 ס"מ

v = 20 ס"מ $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{40} - \frac{1}{-40}$ $f = \frac{R}{2} =$ 40 ס"מ $u = -$40 ס"מ



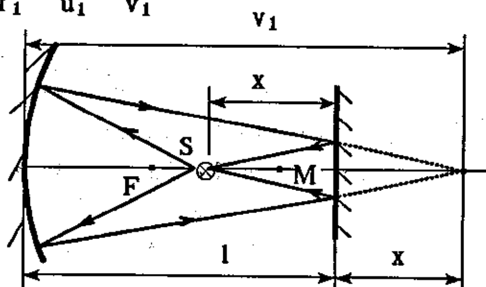
128. f = 48 ס"מ

$v_1 = 3u_1$ $\left|\frac{v_1}{u_1}\right| = 3$ $v_2 = \frac{u_1 + 80}{2}$ $\left|\frac{v_2}{u_1 + 80}\right| = \frac{1}{2}$

$\frac{4}{3u_1} = \frac{3}{u_1 + 80}$ $\frac{1}{3u_1} + \frac{1}{u_1} = \frac{2}{u_1 + 80} + \frac{1}{u_1 + 80}$ $\frac{1}{v_1} + \frac{1}{u_1} = \frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_1 + 80}$

$v_1 =$ 192 ס"מ $u_1 =$ 64 ס"מ $4u_1 = 320 + 9u_1$

$f_1 =$ 48 ס"מ $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1}$



129. $l = \frac{9}{8}r$

$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{2}{r} - \frac{4}{3r} = \frac{2}{3r}$

$v_1 = \frac{3}{2}r = \frac{3}{4}r + 2x$

$x = \frac{3}{8}r$ $\qquad 1 = \frac{3}{4}r + \frac{3}{8}r = \frac{9}{8}r$

.130 $\underline{\Delta = \frac{1}{3}r}$

לגבי חצי מראה התחתון: $u_1 = r = 2f$ לכן $v_1 = r = 2f$ (מקרה 4 עמ' 36).

לגבי חצי מראה העליון: $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{4f} = \frac{3}{4f}$ $\qquad u_2 = 2r = 4f$

$\Delta = v_1 - v_2 = \frac{1}{3}r$ $\qquad v_2 = \frac{4}{3}f = \frac{2}{3}r$

.131 f = 40 ס"מ

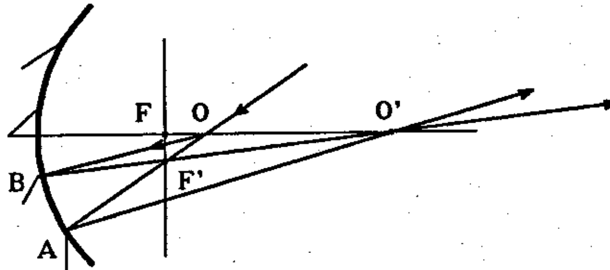
$4u - u = 150$ $\qquad v = 4u$ $\qquad \left|\frac{v}{u}\right| = 4$ $\qquad$ v −u = 1.5 מ'

f = 40 ס"מ $\qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ $\qquad$ u = 50 ס"מ $\qquad$ v = 200 ס"מ

אם הדמות מדומה: $v = -4u$ $\qquad -v + u = 150$ $\qquad$ u = 30 ס"מ $\qquad$ v= −120 ס"מ

f = 40 ס"מ $\qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{30} + \frac{1}{-120}$

.132 O זה עצם ו 'O זוהי דמות, לכן כל הקרניים הפוגעות במראה דרך O יוחזרו דרך 'O. מעבירים קרן OB במקביל ל 'AO. כמו כל הקרניים היא תחזור דרך 'O – 'BO. מסלול הקרניים הפיך, לכן נתאר שקרניים OB ו 'AO שייכות לאלומה מקבילה, הפוגעת במראה. אחרי החזרה הן נפגשות במוקד משנה 'F. דרך 'F בונים מישור המוקד, המאונך לציר אופטי, וחיתוך של מישור המוקד עם ציר אופטי הוא מוקד ראשי של המראה – F.



.133 $\underline{H = 1.5}$

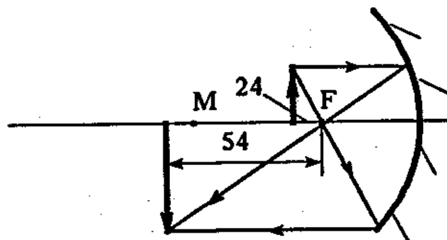
ישנם שני מקרים : א. $u > f$

נוח להשתמש בנוסחת ניוטון:

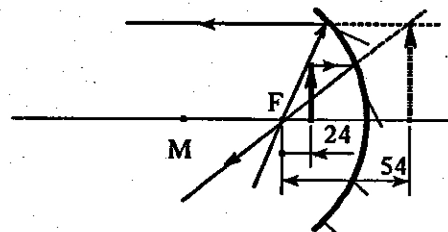
$S \cdot S' = f^2$ כאשר S = 24 ס"מ

S' = 54 ס"מ $\qquad$ מכאן

$S \cdot S' = 24 \cdot 54 = 1296$



$f =$ ס"מ 36 $u = 36 + 24 = 60$ $v = 36 + 54 = 90$ $H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{90}{60} = 1.5$



ב. $u < f$

$u = 36 - 24 = 12$

$v = -54 + 36 = -18$

$H = \left|\frac{-18}{12}\right| = 1.5$

.134 $R_2 =$ ס"מ 200 $R_1 =$ ס"מ 120

א. $R_1 =$ ס"מ 120 $\frac{2}{R} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ $v = u \cdot H = 4 \cdot 75 =$ ס"מ 300 $H = \frac{20}{5} = 4$

ב. $R_2 =$ ס"מ 200 $v = -$ס"מ 300 $H = 4$

.135 2.5

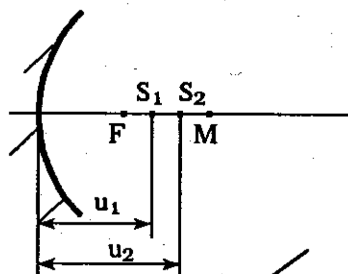
$H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{50}{20} = 2.5$ $v = -2.5u$ $\frac{1}{-v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{-2.5u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$\frac{1.5}{2.5u} = \frac{1}{f}$ $3f = 5u$ $u = 0.6f$ $\frac{f}{u - f} = \left|\frac{f}{-0.4f}\right| = 2.5$

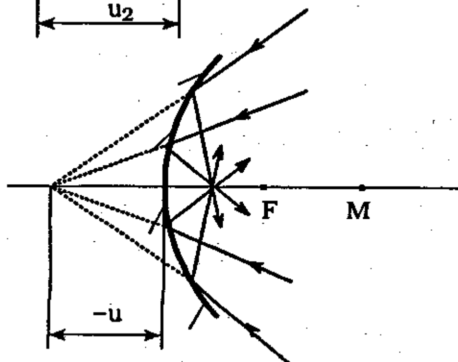
.136 $v = \frac{3}{4}R$

$u_1 = \frac{R}{2} + \frac{R}{6} = \frac{2R}{3}$ $u_2 = \frac{R}{2} + \frac{R}{3} = \frac{5R}{6}$ $\frac{1}{v_1} = \frac{2}{R} - \frac{1}{u_1} = \frac{2}{R} - \frac{3}{2R} = \frac{1}{2R}$

$\frac{1}{v_2} = \frac{2}{R} - \frac{1}{u_2} = \frac{2}{R} - \frac{6}{5R} = \frac{4}{5R}$ $v_1 = 2R$ $v_2 = \frac{5R}{4}$ $\Delta v = 2R - \frac{5R}{4} = \frac{3}{4}R$



.137 $R =$ ס"מ 160



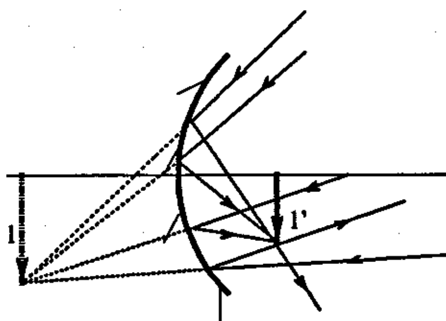
$v = \frac{f}{5}$ $u = -$ס"מ 20

$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{-20} + \frac{5}{f} = \frac{1}{f}$

$\frac{1}{20} = \frac{4}{f}$ $f =$ ס"מ 80

$R =$ ס"מ 160

138. $l =$ ס"מ 25



$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{50} - \frac{1}{20}$$

$u = -$ ס"מ 33.3

$$\frac{l'}{l} = \left|\frac{v}{u}\right| = \left|\frac{20}{33.3}\right| = \frac{15}{1}$$

$l = 15 \cdot \frac{33.3}{20} =$ ס"מ 25

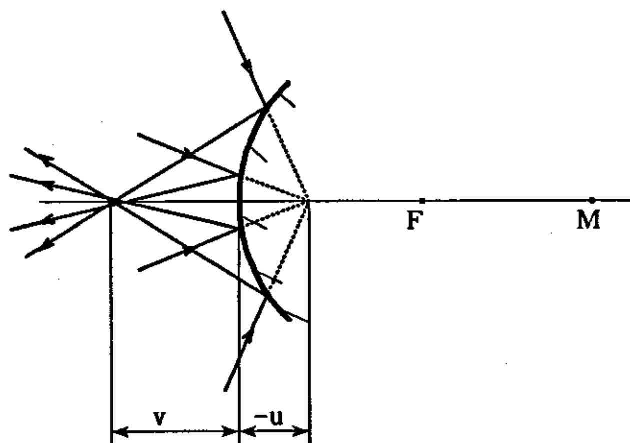
139. $u =$ ס"מ 20

$H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{1}{2}$ $\quad v = -\frac{u}{2}$ $\quad \frac{1}{u} - \frac{2}{u} = \frac{1}{f}$ $\quad \frac{-1}{u} = \frac{1}{f}$ $\quad u = -f =$ ס"מ 20

140. $R = -$ ס"מ 120

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{-24} + \frac{1}{40}$$

$R = -$ ס"מ 120



3.2 עדשות

141. $\underline{2.7\ D}$

$$F = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) = (1.41-1)\cdot\left(\frac{1}{0.2}-\frac{1}{-0.6}\right) = 2.7\ D$$

142. R = −24.4 ס"מ

$$\frac{1}{f} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{-R}-\frac{1}{R}\right) = (n-1)\cdot\frac{2}{-R}$$ $R=-2f\cdot(n-1)=$ −24.4 ס"מ

143. מפזרת. f = −111 ס"מ

$$\frac{1}{f} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$ f = −111 ס"מ מרחק המוקד שלילי, לכן

העדשה מפזרת.

144. $\underline{n = 1.47}$

$$\frac{1}{160} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{-50}-\frac{1}{-30}\right)$$

145. מקדם שבירה של העדשה יחסי לאויר גדול יותר ממקדם השבירה יחסי למים,

כלומר n של עדשה קטֵן במים, לכן $\frac{1}{f}$ קטֵן ו f גדֵל.

146. $\underline{F = -2\ D}$

אם שטח מישורי − $R=\infty$

$$F = \frac{1}{f} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{\infty}-\frac{1}{R_2}\right) = -2D$$

147. $\underline{n = 1.6}$

עדשה מרכזת באויר:

$$F_1 = 8 = (n_2-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

עדשה מפזרת בנוזל:

$$F_2 = -1 = \left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)\cdot\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

נחלק את המשוואות אחת על השניה:

$$-8=\frac{n_2-1}{\frac{n_2}{n_1}-1} = \frac{(n_2-1)\cdot n_1}{n_2-n_1} = \frac{0.5\cdot n_1}{1.5-n_1}$$ $-12+8n_1=0.5n_1$ $n_1=1.6$

148. v = 507 ס"מ. דמות ממשית, הפוכה ומוגדלת. H = 5.3

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f}-\frac{1}{u} = \frac{1}{80}-\frac{1}{95}$$ v = 507 ס"מ $H = \left|\frac{v}{u}\right| = 5.3$

בניית הדמות − מקרה 5 עמ' 47.

149. l = 0.75 ס"מ

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f}-\frac{1}{v}$$ u = 15 ס"מ $\frac{l'}{l} = \left|\frac{v}{u}\right|$ $l = \frac{15\cdot 3}{60} =$ 0.75 ס"מ

150. $u = 2f = 100$ ס"מ

151. $v_1 = 200$ ס"מ. $v_2 = -120$ ס"מ

מכיוון שלא מצוין סוג הדמות, הדמות המוגדלת יכולה להיות ממשית או מדומה.
לכן ישנם שני פתרונות:

א. דמות ממשית: $v_1 = 200$ ס"מ $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{4}{v} + \frac{1}{v} = \frac{5}{v} = \frac{1}{40}$ $\left|\frac{v}{u}\right| = 4$

ב. דמות מדומה: $v_2 = -120$ ס"מ $\frac{1}{u} + \frac{1}{-v} = \frac{4}{v} + \frac{1}{-v} = \frac{-3}{v} = \frac{1}{40}$ $\left|\frac{v}{u}\right| = 4$

152. $v_1 = 60$ ס"מ. $v_2 = 40$ ס"מ

$v^2 - 100v + 2400 = 0$ $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{100 - v} + \frac{1}{v} = \frac{1}{24}$ $v + u = 100$

$u_1 = 40$ ס"מ $v_1 = 60$ ס"מ

$u_2 = 60$ ס"מ $v_2 = 40$ ס"מ

ישנם שני מצבים לעדשה, וניתן לראות שעצם ודמות נמצאים במרחקים מתחלפים לאותה העדשה.

153. $f = 20$ ס"מ. $H = 2$

$f = 20$ ס"מ $H = \left|\frac{v}{u}\right| = 2$ $\frac{1}{f} = \frac{1}{10} + \frac{1}{-20}$

154. $u = 90$ ס"מ

$u = 90$ ס"מ $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{2u} = \frac{1}{60}$ $v = 2u$ $\left|\frac{v}{u}\right| = 2$

בניית הדמות – מקרה 5 עמ' 47.

155. $u = 25$ ס"מ

$u = 25$ ס"מ $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{4u} = \frac{5}{4u} = \frac{1}{20}$ $v = 4u$ $\frac{12}{3} = \left|\frac{v}{u}\right| = 4$

156. $v = 150$ ס"מ

הדמות ממשית, אחרת לא היתה מתקבלת על המסך. $u = \frac{v}{5}$ $\left|\frac{v}{u}\right| = 5$

$v = 150$ ס"מ

$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{5}{v} + \frac{1}{v} = \frac{6}{v} = 4$

157. $v = 14$ ס"מ

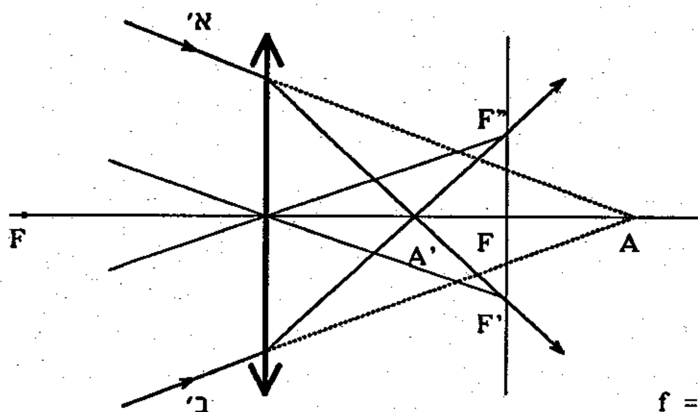
עצם מדומה (המשכי הקרניים).

$v = 14$ ס"מ

$u = -30$ ס"מ

$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = 4 - \frac{1}{-0.3}$

במהלך הקרניים יש להעביר ציר אופטי משנה, המקביל לאחת הקרניים קרן א').
מפגש של ציר אופטי משנה עם מישור המוקד זהו מוקד משנה 'F ודרכו נשברת קרן א'. נחזור על אותן פעולות לגבי קרן ב'. במפגש של שתי הקרניים, הנשברות בנקודה 'A, נוצרת דמות. A – עצם מדומה. 'A – דמות ממשית.



158. $f =$ 12.5 ס"מ

$H = 1$, לכן 25 ס"מ $= u = 2f$

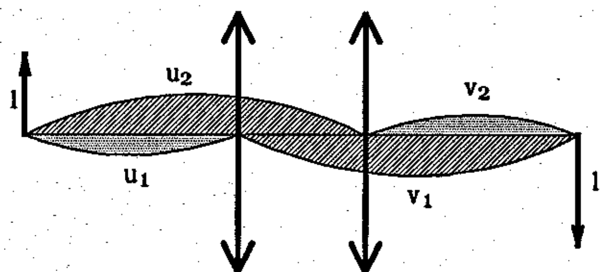
159. $v_1 =$ 36 ס"מ. $v_2 =$ 45 ס"מ

$v^2 - 81v + 1620 = 0$ $\quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{81 - v} + \frac{1}{v} = \frac{1}{20}$ $\quad u + v = 81$

$v_1 =$ 36 ס"מ $\quad u_1 =$ 45 ס"מ $\quad v_2 =$ 45 ס"מ $\quad u_2 =$ 36 ס"מ

160. $f =$ 24 ס"מ

ישנם שני מצבי עדשה ליצירת דמות ברורה (ראה פתרון 152).



$u_2 = v_1 \quad u_1 = v_2$

$v_1 - u_1 = 20$

$u_1 + v_1 = 100$

$v_1 =$ 60 ס"מ

$u_1 =$ 40 ס"מ

$\frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f}$

$f =$ 24 ס"מ

161. $d =$ 30 ס"מ. $H = \frac{1}{3}$

תרשים בפתרון 160. $\quad u_1 + v_1 = 4u_1 = 60 \quad v_1 = 3u_1 \quad \left|\frac{v_1}{u_1}\right| = 3$

$u_1 =$ 15 ס"מ $\quad v_1 =$ 45 ס"מ $\quad$ מכיוון ששני מצבי העדשה הם הפיכים:

$u_2 =$ 45 ס"מ $\quad v_2 =$ 15 ס"מ מכאן $d = u_2 - u_1 =$ 30 ס"מ $\quad H_2 = \left|\frac{v_2}{u_2}\right| = \frac{1}{3}$

162. $f =$ 20 ס"מ

תרשים בפתרון 160. $\quad H_2 = \frac{l_2'}{l} = \left|\frac{v_2}{u_2}\right| \quad H_1 = \frac{l_1'}{l} = \left|\frac{v_1}{u_1}\right|$

נחלק שתי הגדלות: $4 = \frac{v_1 \cdot u_2}{u_1 \cdot v_2} = \frac{l_1'}{l_2'}$ משני מצבי העדשה(ראה פתרון 152):

$v_1 = 2u_1$ $\qquad \frac{v_1}{u_1} = 2$ $\qquad \frac{l_1'}{l_2'} = \frac{v_1^2}{u_1^2} = 4$ $\qquad u_2 = v_1$ $\qquad u_1 = v_2$

$f =$ 20 ס"מ $\qquad u_1 =$ 30 ס"מ $\qquad v_1 =$ 60 ס"מ $\qquad u_1 + v_1 = 3u_1 = 90$

.163 $H = 4$

נמצא דמות של כל קצה. $v_1 =$ 36.4 ס"מ $\qquad \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{12} - \frac{1}{17.9}$

$v_2 =$ 35.6 ס"מ $\qquad \frac{1}{v_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{12} - \frac{1}{18.1}$

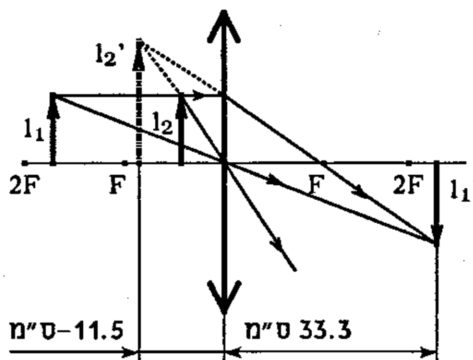
$H = \frac{l'}{l} = 4$ $\qquad l' = 36.4 - 35.6 =$ 0.8 ס"מ $\qquad l = 18.1 - 17.9 =$ 0.2 ס"מ

.164 $\Delta u =$ 0.05 ס"מ

$u_1 =$ 21.05 ס"מ $\qquad \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{400}$ $\qquad f = \frac{1}{F} =$ 20 ס"מ

$\Delta u = u_1 - u_2 =$ 0.05 ס"מ $\qquad u_2 =$ 21 ס"מ $\qquad \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v_2} = \frac{1}{20} - \frac{1}{420}$

.165 $\Delta v =$ 44.8 ס"מ



$f = \frac{1}{8} =$ 0.125 מ' = 12.5 ס"מ

$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{12.5} - \frac{1}{20}$ $\qquad v_1 =$ 33.3 ס"מ

$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{12.5} - \frac{1}{6}$ $\qquad v_2 = -$11.5 ס"מ

$\Delta v = v_1 - v_2 =$ 44.8 ס"מ

.166 $u_1 =$ 16.7 ס"מ. $u_2 =$ 8.3 ס"מ

$f = \frac{1}{8} =$ 0.125 מ' = 12.5 ס"מ

א. $u_1 =$ 16.7ס"מ $\qquad \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{3u_1} = \frac{4}{3u_1} = \frac{1}{12.5}$ $\qquad v_1 = 3u_1$ $\qquad \left|\frac{v_1}{u_1}\right| = 3$

בניית הדמות – מקרה 5 עמ' 47.

ב. $u_2 =$ 8.3ס"מ $\qquad \frac{1}{u_2} - \frac{1}{3u_2} = \frac{2}{3u_2} = \frac{1}{12.5}$ $\qquad$ בניית הדמות – מקרה 6 עמ' 47

.167 $f =$ 30 ס"מ. עדשה מרכזת

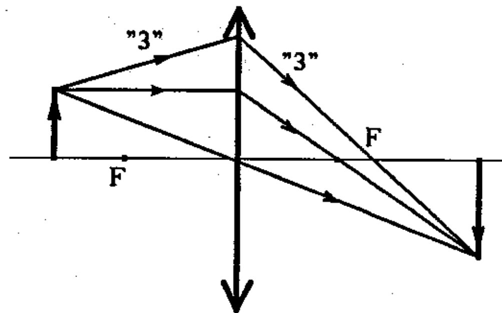
דמות ישרה מתקבלת רק מדומה. $f =$ 30 ס"מ $\qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-150}$

עדשה מרכזת כי הדמות מוגדלת. $H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{150}{25} = 6 > 1$

.168 $\underline{H = 0.6}$

$H = \left|\frac{v}{u}\right| = 0.6$ $v = 4.8$ ס"מ $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$

בונים דמות בדרך רגילה. מכיוון שהדמות נוצרת על - ידי כל הקרניים, הקרן השלישית, היוצאת מראש העצם, תישבר לכיוון ראש הדמות.



.169 $\underline{H = 0.6}$. $\underline{f = -30}$ ס"מ. עדשה מפזרת.

$H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{12}{20} = 0.6 < 1$ דמות מוקטנת והיא מדומה כי היא ישרה, לכן

העדשה היא מפזרת. $f = -30$ ס"מ $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{20} - \frac{1}{12} = \frac{-2}{60}$

.170 $\underline{v = -8.4}$ ס"מ. $\underline{H = 0.3}$

$H = \left|\frac{v}{u}\right| = 0.3$ $v = -8.4$ ס"מ $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{-12} - \frac{1}{28}$

בניית הדמות בעמ' 47.

.171 $\underline{u = 4.8}$ ס"מ. $\underline{H = 0.83}$

$u = 4.8$ ס"מ $\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{-25} - \frac{1}{-4}$ $f = \frac{1}{4} = 0.25$ מ' $= 25$ ס"מ

$H = \left|\frac{v}{u}\right| = 0.83$

.172 עדשה מפזרת. $\underline{f = -32.7}$ ס"מ

$H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{18}{40} < 1$ עדשה מפזרת,כי הדמות ישרה ומוקטנת.

$f = -32.7$ ס"מ $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{40} + \frac{1}{-18}$

.173 $\underline{l' = 1.2}$ ס"מ

$l' = \frac{v \cdot l}{u} = \frac{6 \cdot 2}{10} = 1.2$ ס"מ $H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{l'}{l}$

.174 $\underline{u = 18}$ ס"מ. $\underline{v = -7.2}$ ס"מ

$\frac{1}{u} - \frac{1}{0.4u} = \frac{1}{-12}$ $v = 0.4u$ $\frac{v}{u} = 0.4$ $\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{-12}$

$v = -7.2$ ס"מ $u = 18$ ס"מ $\frac{-0.6}{0.4u} = \frac{1}{-12}$

בניית הדמות בעמ' 47.

175. <u>עדשה מרכזת. $f = 80$ ס"מ. $R = 40$ ס"מ</u>

העדשה מרכזת מכיוון שהדמות של העצם מאינסוף נוצרת בצד שני של העדשה.

$R = 40$ ס"מ $\frac{1}{f} = \frac{1}{80} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = (1.5-1)\cdot\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty}\right)$

בניית הדמות בעמ' 46 מקרה 1.

176. <u>$f = 5.6$ ס"מ</u>

$f_T = 5.6$ ס"מ $\frac{1}{f_T} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} = \frac{1}{12.5} + \frac{1}{-10} + \frac{1}{5}$

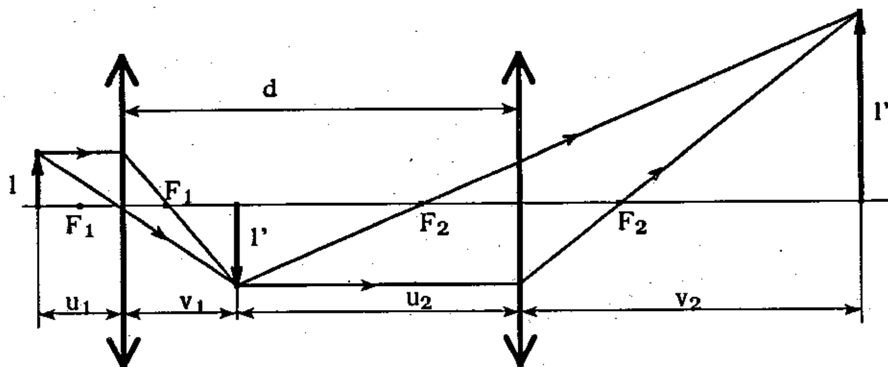
177. <u>$f_3 = -20$ ס"מ</u>

$f_3 = -20$ ס"מ $\frac{1}{10} = \frac{1}{12} + \frac{1}{15} + \frac{1}{f_3}$ $f_T = \frac{1}{10} =$ 0.1 מ' $=$ 10 ס"מ

178. <u>$v_2 = 12$ ס"מ. $H_T = 6$</u>

$u_2 = d - v_1 = 4$ ס"מ $v_1 = 6$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$

$H_T = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = \frac{6 \cdot 12}{3 \cdot 4} = 6$ $v_2 = 12$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{3} - \frac{1}{4} = \frac{1}{12}$



179 <u>$v_2 = 60$ ס"מ. $H = 1$</u>

תרשים בפתרון 178. $v_1 = 16$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1}$

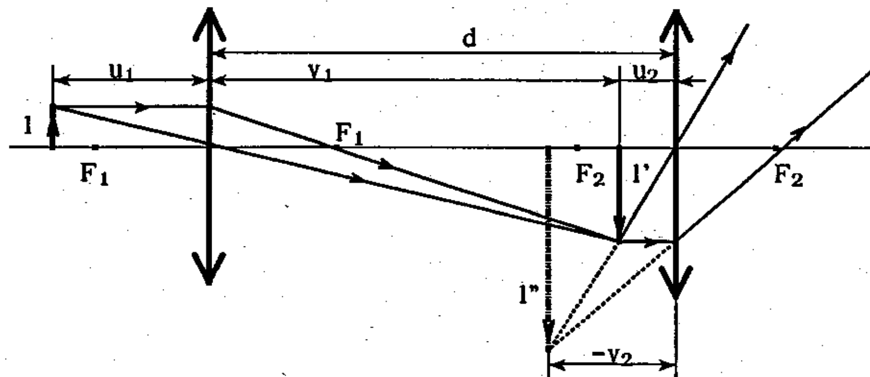
$v_2 = 60$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{1}{60}$ $u_2 = d - v_1 = 20$ ס"מ

$H = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = \frac{16 \cdot 60}{48 \cdot 20} = 1$

$H = 6$.$v_2 = -$ס"מ 30 .180

$$\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{u_1}=\frac{1}{20}-\frac{1}{30}=\frac{1}{60}$$ $v_1=$ ס"מ 60 $u_2=d-v_1=70-60=$ ס"מ 10

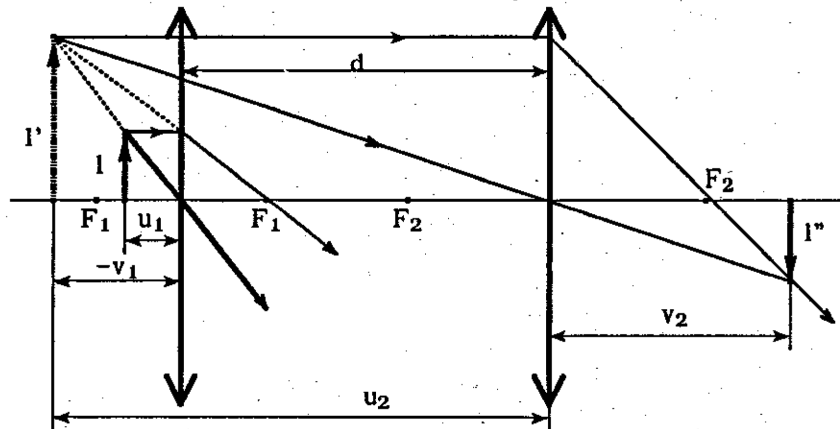
$$\frac{1}{v_2}=\frac{1}{f_2}-\frac{1}{u_2}=\frac{1}{15}-\frac{1}{10}=\frac{-1}{30}$$ $v_2=-$ס"מ 30 $H=\left|\frac{v_1\cdot v_2}{u_1\cdot u_2}\right|=\frac{60\cdot 30}{30\cdot 10}=6$



$v_2 =$ ס"מ 50.8 .181

$$\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{u_1}=\frac{1}{10}-\frac{1}{7}=\frac{-3}{70}$$ $v_1 = -$ס"מ 23.3

$u_2=d-v_1=50-(-23.3)=$ ס"מ 73.3 $$\frac{1}{v_2}=\frac{1}{30}-\frac{1}{73.3}$$ $v_2=$ ס"מ50.8

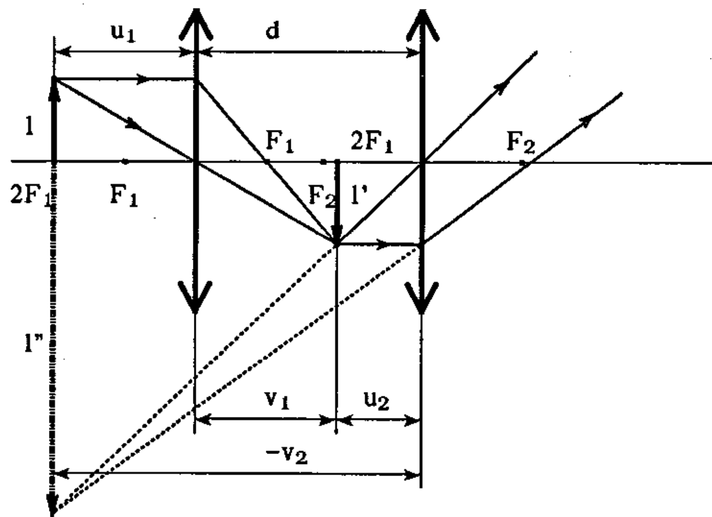


$H = 5$.$v_2 = -$ס"מ 50 .182

$$\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{u_1}=\frac{1}{10}-\frac{1}{20}=\frac{1}{20}$$ $v_1 =$ ס"מ 20

$u_2 = d - v_1 = 30 - 20 = 10$ $$\frac{1}{v_2}=\frac{1}{f_2}-\frac{1}{u_2}=\frac{1}{12.5}-\frac{1}{10}=\frac{-1}{50}$$

$v_2 = -$ס"מ 50 $H=\left|\frac{v_1\cdot v_2}{u_1\cdot u_2}\right|=\frac{20\cdot 50}{20\cdot 10}=5$

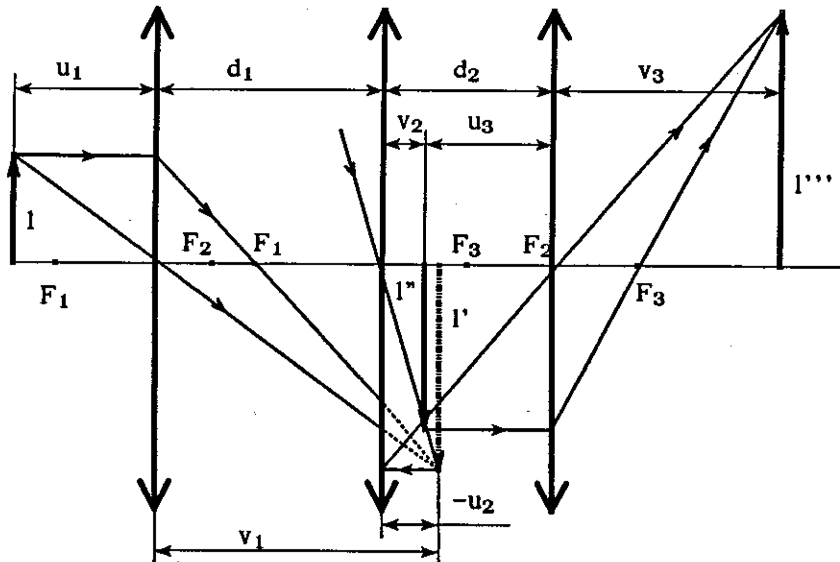


183. $v_3 = 26.7$ ס"מ

$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1}$ $v_1 = 30$ ס"מ $u_2 = d_1 - v_1 = 25 - 30 = -5$ ס"מ

$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{20} - \frac{1}{-5}$ $v_2 = 4$ ס"מ $u_3 = d_2 - v_2 = 20 - 4 = 16$ ס"מ

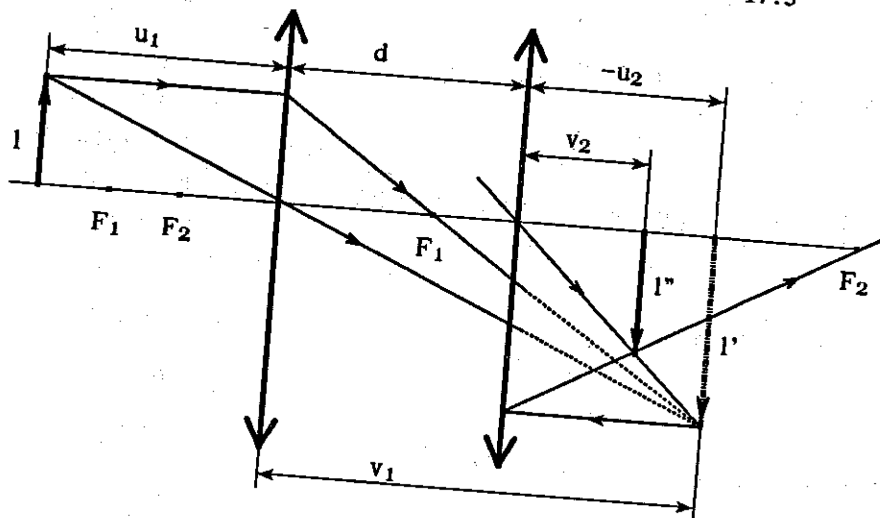
$\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f_3} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{10} - \frac{1}{16} = \frac{3}{80}$ $v_3 = 26.7$ ס"מ



184. <u>$v_2 = 11$ ס"מ</u>, $H = 0.94$. <u>דמות ממשית, מוקטנת והפוכה.</u>

$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1}$ $\quad v_1 = 37.5$ ס"מ $\quad u_2 = d - v_1 = 20 - 37.5 = -17.5$ ס"מ

$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{30} - \frac{1}{-17.5}$ $\quad v_2 = 11$ ס"מ $\quad H_T = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = \frac{37.5 \cdot 11}{25 \cdot 17.5} = 0.94$



185. <u>$u_1 = 10$ ס"מ</u>

$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{30} - \frac{1}{60} = \frac{1}{60}$ $\quad u_2 = 60$ ס"מ $\quad v_1 = d - u_2 = 40 - 60 = -20$ ס"מ

$\frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{-20} = \frac{1}{10}$

$u_1 = 10$ ס"מ

186. <u>$u_1 = 15.6$ ס"מ</u>

$\frac{1}{u_3} = \frac{1}{f_3} - \frac{1}{v_3} = \frac{1}{25} - \frac{1}{50} = \frac{1}{50}$ $\quad u_3 = 50$ ס"מ $\quad v_2 = -20$ ס"מ

$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{30} - \frac{1}{-20} = \frac{5}{60}$ $\quad u_2 = 12$ ס"מ $\quad v_1 = d_1 - u_2 = 40 - 12 = 28$ ס"מ

$\frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{10} - \frac{1}{28} = \frac{9}{140}$

$u_1 = 15.6$ ס"מ

187. <u>דמות מדומה, מוקטנת וישרה. $v = -8.1$ ס"מ, $H = 0.3$</u>

$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{-12} - \frac{1}{25} = -\frac{37}{300}$ $\quad v = -8.1$ ס"מ $\quad H = \left|\frac{-8.1}{25}\right| = 0.3$

בניית הדמות בעמ' 47.

188. <u>$u = -45$ ס"מ.</u>

לא ניתן לראות את הדמות על המסך, כי היא מדומה.

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{-v}$$

189. $v = -4$ ס"מ

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$$

190. $F = -20D$.$u = 10$ ס"מ

$$\frac{1}{-5} = \frac{1}{u} + \frac{3}{-u} = \frac{-2}{u} \qquad v = -\frac{u}{3} \qquad \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{1}{3} \qquad F = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0.05} = -20\ D$$

$u = 10$ ס"מ

191. עדשה מפזרת. $f = -80$ ס"מ

עדשה מפזרת מכיוון שהדמות מתקבלת באותו צד שהעצם ויותר קרובה לעדשה.

$v = f = -80$ ס"מ $\qquad u = \infty$

192. $f = 9.6$ ס"מ

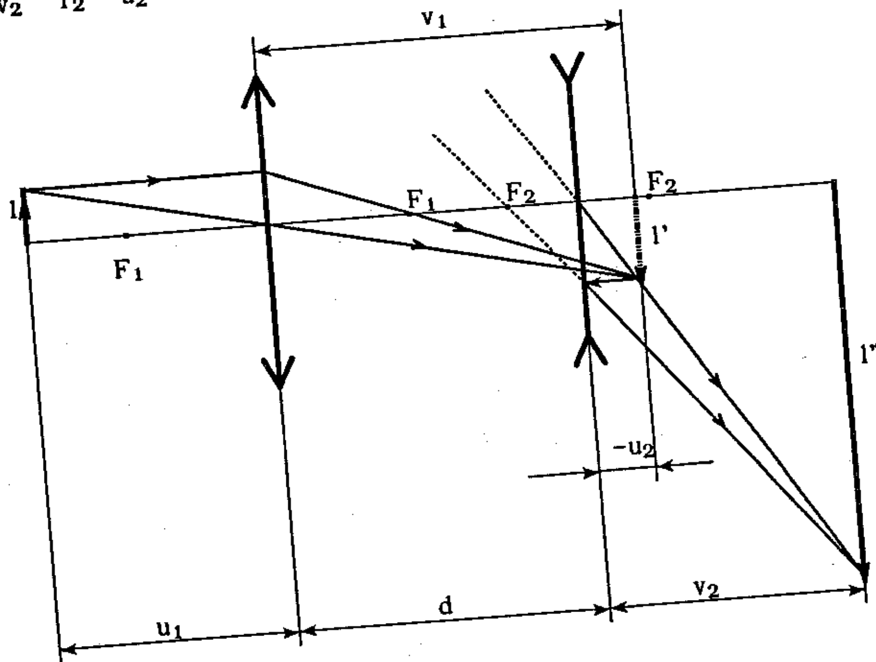
$f_T = 9.6$ ס"מ

$$\frac{1}{f_T} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{-12}$$

193. $v_2 = 31.6$ ס"מ. $H = 4.8$

$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{35} \qquad v_1 = 46.7 \text{ ס"מ} \qquad u_2 = d - v_1 = 38 - 46.7 = -8.7 \text{ ס"מ}$$

$$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{-12} - \frac{1}{-8.7} \qquad v_2 = 31.6 \text{ ס"מ} \qquad H = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = 4.8$$



194. <u>$v = \infty$</u>

$u_2 = d_1 - v_1 = 15 - 10 = 5$ ס"מ $(u = \infty)\ v_1 = f_1 = 10$ ס"מ

$v_2 = -4$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{-20} - \frac{1}{5} = \frac{-5}{20}$

$v_3 = \infty$ $u_3 = d_2 - v_2 = 5 - (-4) = 9$ ס"מ $= f_3$

האלומה יוצאת מקבילה לציר אופטי ראשי. המערכת נקראת טלסקופית.

195. <u>$v_2 = 15.6$ ס"מ</u>

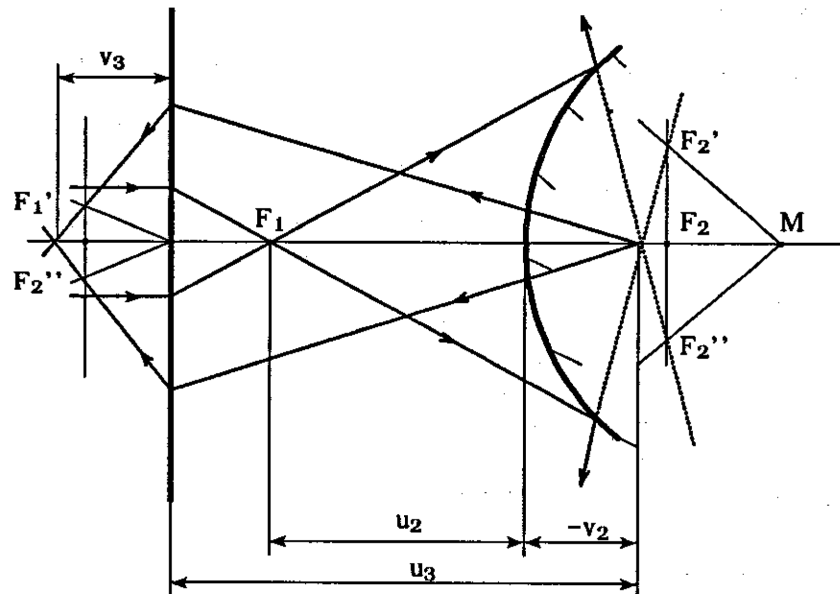
$u_2 = d - v_1 = 40 - 12 = 28$ ס"מ $v_1 = f_1 = 12$ ס"מ $u_1 = \infty$

$v_2 = -11.7$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{-20} - \frac{1}{28}$ $f_2 = \frac{R}{2} = -20$ ס"מ

אחרי החזרה מהמראה הקרניים שוב עוברות את העדשה.

$u_3 = d - v_2 = 40 - (-11.7) = 51.7$ ס"מ (לגבי עדשה בכיוון הפוך)

הדמות נמצאת שמאלה מהעדשה: $v_3 = 15.6$ ס"מ $\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{12} - \frac{1}{51.7}$



בניית הדמות מהעצם, הנמצא על ציר אופטי, בעזרת מוקדי משנה -ראה עמ' 48.

196. <u>$v_3 = 36.5$ ס"מ, $l' = 1.9$ ס"מ</u>

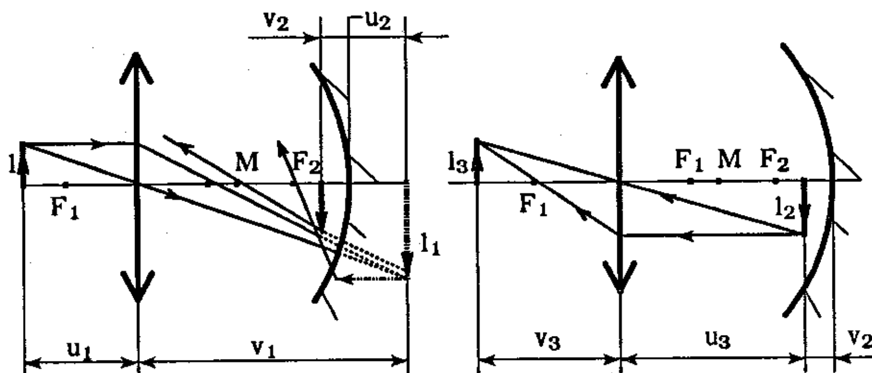
$v_1 = 60$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{1}{60}$

$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{14} - \frac{1}{-10} = \frac{12}{70}$ $u_2 = d - v_1 = 50 - 60 = -10$ ס"מ

$v_2 =$ 5.8 ס"מ $\qquad u_3 = d - v_2 = 50 - 5.8 =$ 44.2 ס"מ

$\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{20} - \frac{1}{44.2} = \frac{1}{36.5}$ $\qquad v_3 =$ 36.5 ס"מ

$H = \left|\frac{v_1 \cdot v_2 \cdot v_3}{u_1 \cdot u_2 \cdot u_3}\right| = \frac{60 \cdot 5.8 \cdot 36.5}{30 \cdot 10 \cdot 44.2} = 0.96$ $\qquad l_3 = 2 \cdot 0.96 =$ 1.9 ס"מ



אחרי החזרה מהמראה $\qquad$ מעבר דרך עדשה פעם ראשונה

197. 3.3 ס"מ = l_3. דמות מדומה, ישרה ומוקטנת.

$\frac{1}{f_1} = (n-1) \cdot (\frac{1}{-R_1} - \frac{1}{R_2}) = (1.5-1) \cdot (\frac{1}{-30} - \frac{1}{30})$ $\qquad f_1 = -$30 ס"מ

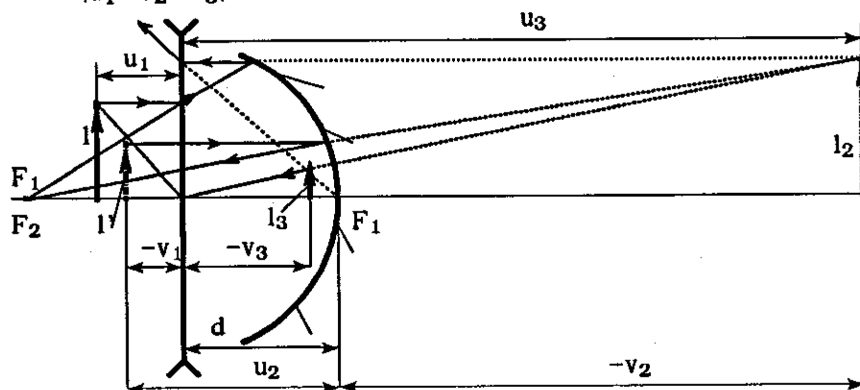
$f_2 = \frac{R}{2} = \frac{D}{4} =$ 60 ס"מ $\qquad \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{-30} - \frac{1}{15} = \frac{-1}{10}$

$v_1 = -$10 ס"מ $\qquad u_2 = d - v_1 = 30 - (-10) =$ 40 ס"מ

$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{60} - \frac{1}{40} = \frac{1}{-120}$ $\qquad v_2 = -$120 ס"מ

$u_3 = d - v_2 = 30 - (-120) =$ 150 ס"מ $\qquad v_3 = -$25 ס"מ

$H = \left|\frac{v_1 \cdot v_2 \cdot v_3}{u_1 \cdot u_2 \cdot u_3}\right| = \frac{10 \cdot 120 \cdot 25}{15 \cdot 40 \cdot 150} = \frac{1}{3}$ $\qquad l_3 = l \cdot H = 3.3$



198. עדשה מפזרת. 1 מ'- = f. F = -1D. מערכת מרכזת. 33.3 ס"מ = f. F = 3D

$R_1 > R_2$ עדשה מפזרת, כי עוביה באמצע קטן יותר לעומת העובי בקצוות.

$F = \frac{1}{f} = -1D$ $\quad f_1 = -1$ מ' $= -100$ ס"מ $\quad \frac{1}{f_1} = (1.5 - 1) \cdot (\frac{1}{50} - \frac{1}{25})$

33.3 ס"מ $= \frac{1}{-1+4} = \frac{1}{F_1 + F_2} = \frac{1}{F_T} = f_T$ – מערכת מרכזת

199. דמות ראשונה – מדומה, ישרה ומוגדלת. 15 ס"מ- = v. 30 ס"מ = 'l

דמות שניה – ממשית, ישרה ומוקטנת. 55.4 ס"מ = v. 6.5 ס"מ = ''l

הדמות הראשונה מתקבלת על-ידי עדשה בלבד: ראה בניית הדמות בעמ' 47

מקרה 6. 15 ס"מ- = v $\quad \frac{1}{v} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{30} - \frac{1}{10} = \frac{-2}{30}$

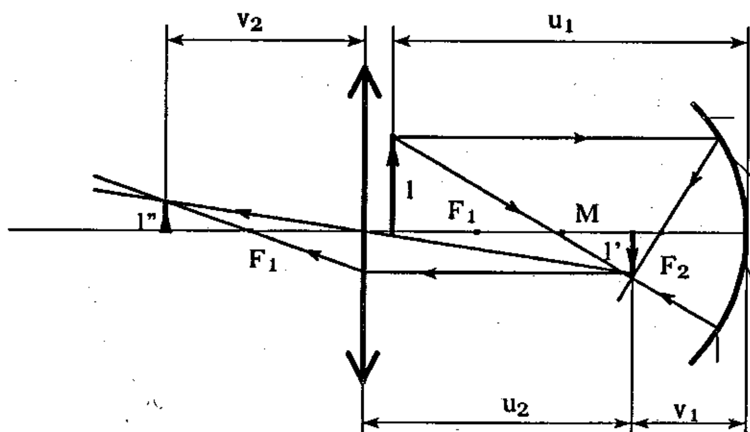
30 ס"מ = 'l $\quad \frac{l'}{l} = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{15}{10} = 1.5$

הדמות השניה מתקבלת על-ידי האור, היוצא מהעצם, פוגע במראה, מוחזר ועובר דרך העדשה. המרחק בין העדשה ובין המראה הוא 100 ס"מ (לפי התרשים). לגבי המראה 90 ס"מ = u_1 $\quad \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{25} - \frac{1}{90} = \frac{1}{34.6}$

$u_2 = d - v_1 = 100 - 34.6 =$ 65.4 ס"מ $\quad v_1 =$ 34.6 ס"מ

$v_2 =$ 55.4 ס"מ $\quad \frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{30} - \frac{1}{65.4} = \frac{1}{55.4}$

$l'' =$ 6.5 ס"מ $\quad H = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = \frac{34.6 \cdot 55.4}{90 \cdot 65.4} = 0.32$



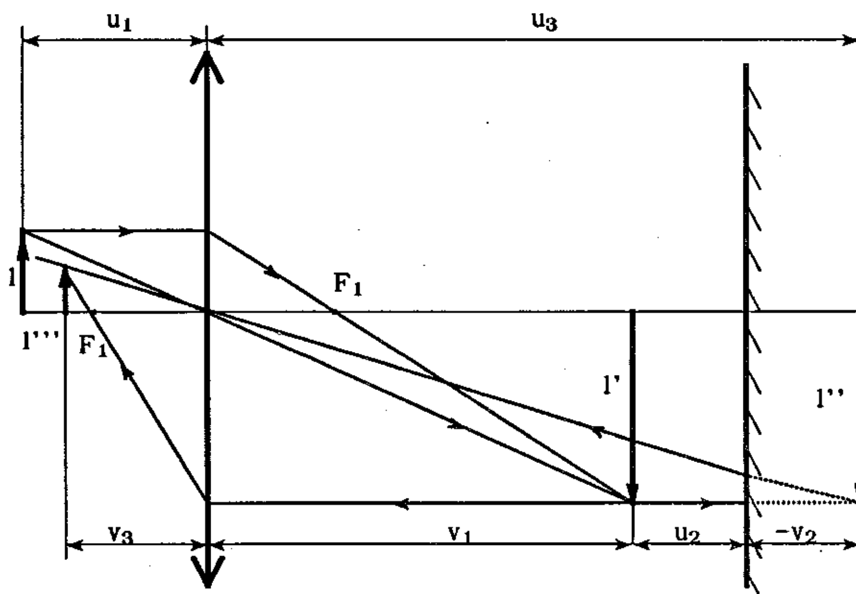
200. 25 ס"מ = v_3. דמות ממשית, ישרה ומוקטנת.

$u_2 = d - v_1 = 80 - 60 =$ 20 ס"מ $\quad v_1 =$ 60 ס"מ $\quad \frac{1}{v_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{1}{60}$

במראה מישורית מתקבלת דמות מדומה בצד שני של המראה. $u_2=-v_2=-20$ ס"מ

חזרה לעדשה: $u_3 = d - v_2 = 80 - (-20) = 100$ ס"מ

$v_3 = 25$ ס"מ $\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{20} - \frac{1}{100} = \frac{4}{100}$



.201 $v = -870$ ס"מ. $1' = 30$ ס"מ. $v_2 = -6$ ס"מ. $1'' = 6$ ס"מ

1. דמות אחרי עדשה בלבד: $f_2 = \frac{1}{F} = \frac{3}{10} = 30$ ס"מ

המרחק בין המראה ובין העדשה: $d = 30 + 5 = 35$ ס"מ

$v = -870$ ס"מ $\frac{1}{v} = \frac{1}{30} - \frac{1}{29} = \frac{1}{870}$ $u = 35 - 6 = 29$ ס"מ

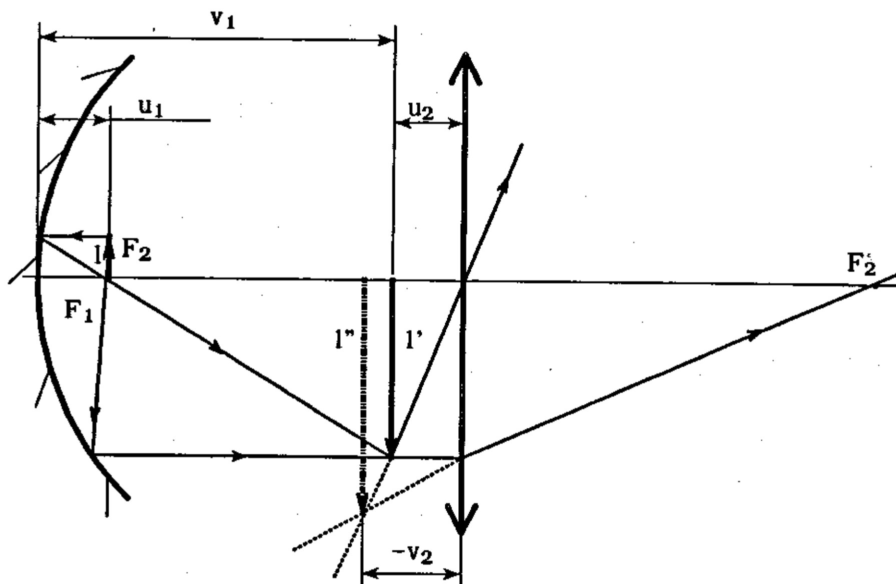
$1' = 30$ ס"מ $H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{870}{29} = 30$ דמות מדומה, ישרה ומוגדלת.

בניית הדמות בעמ' 47 מקרה 6.

2. דמות אחרי מראה ועדשה: $v_1 = 30$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{5} - \frac{1}{6} = \frac{1}{30}$

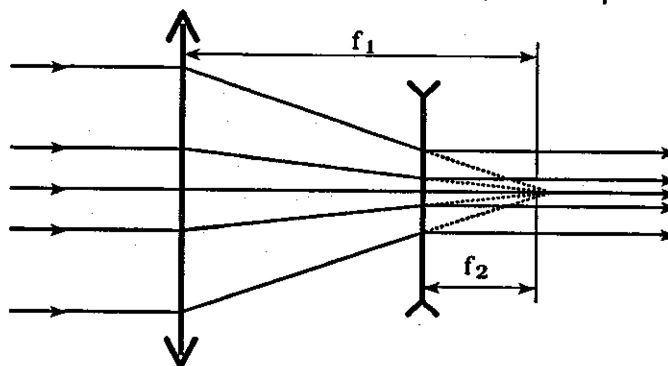
$v_2 = -6$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{30} - \frac{1}{5} = \frac{-5}{30}$ $u_2 = 35 - 30 = 5$ ס"מ

$1'' = 6$ ס"מ $H = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = \frac{30 \cdot 6}{6 \cdot 5} = 6$



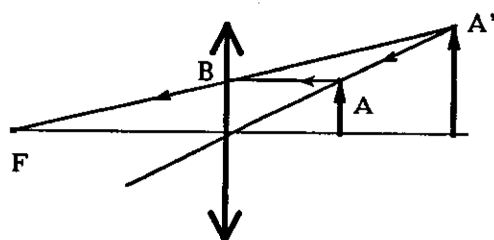
202. <u>25 ס"מ = d</u>

כדי שאלומה תצא מקבילה, מוקדי העדשות חייבים להתלכד. מערכת כזו שימושית בטלסקופ גלילי (ראה עמ' 73). $d = f_1 - f_2 = 40 - 15 = 25$ ס"מ

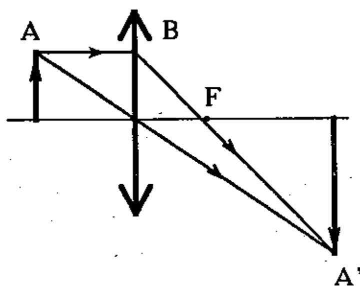


203.<u>עדשה מרכזת</u>

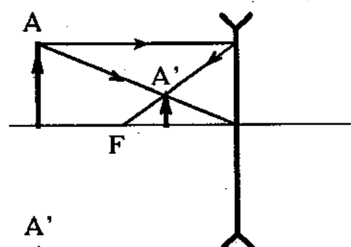
זוהי עדשה מרכזת,כי הדמות גדולה מהעצם.



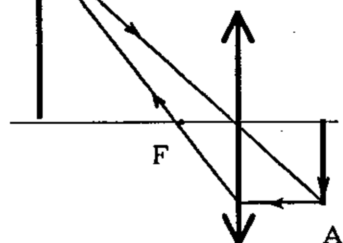
1. קרן עוברת דרך A ו 'A – היא חותכת ציר אופטי במרכז העדשה.
2. קרן מ A במקביל לציר אופטי פוגעת בעדשה ב B. קרן, העוברת דרך 'A ו B – עוברת דרך מוקד.



204. א. דמות הפוכה, לכן זו עדשה מרכזת.
1. קרן דרך A ו A' – היא חותכת ציר אופטי במרכז העדשה.
2. קרן מ A מקבילה לציר אופטי פוגעת בעדשה בנקודה B. קרן דרך A' ו B – עוברת דרך מוקד.

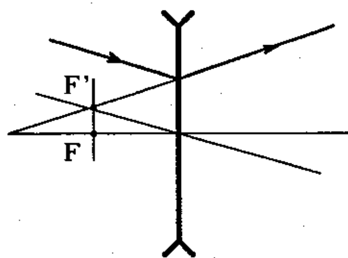


ב. דמות ישרה וקטנה מהעצם – לכן עדשה מפזרת.

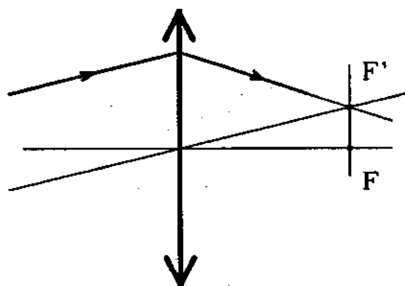


ג. דמות הפוכה, לכן עדשה מרכזת.

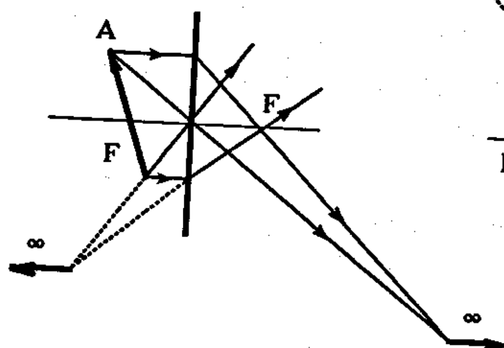
205. א. לפי שבירת הקרן העדשה היא מפזרת ונמצאת במקום השבירה. מעבירים דרך מרכז העדשה קרן מקבילה לקרן הפוגעת. המשך של הקרן הנשברת יפגוש אותה בנקודת מוקד המשנה. המישור העובר דרך F' ומאונך לציר אופטי הוא מישור המוקד.

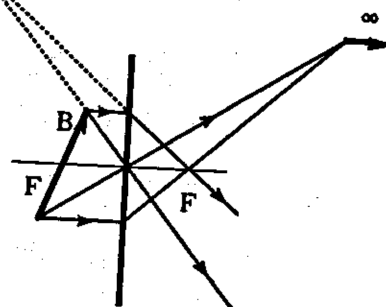


ב. לפי מהלך הקרניים זוהי עדשה מרכזת.



206. בונים את כל חץ בנפרד:





207. $f = 20$ ס"מ

$v = 30$ ס"מ $u = 60$ ס"מ $u - v = 30$ $u + v = 90$

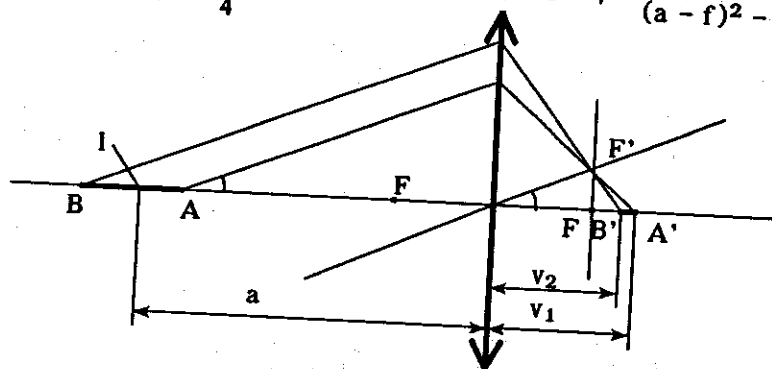
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} = \frac{3}{60}$$

$f = 20$ ס"מ

208. $$H = \frac{f^2}{(a-f)^2 - \frac{l^2}{4}}$$

$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a - \frac{l}{2}} \qquad v_1 = \frac{f(a - \frac{l}{2})}{a - \frac{l}{2} - f} \qquad \frac{1}{v_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a + \frac{l}{2}} \qquad v_2 = \frac{f(a + \frac{l}{2})}{a + \frac{l}{2} - f}$$

$$v_1 - v_2 = \frac{f^2 l}{(a-f)^2 - \frac{l^2}{4}} \qquad H = \left|\frac{v_1 - v_2}{l}\right| = \frac{f^2}{(a-f)^2 - \frac{l^2}{4}}$$



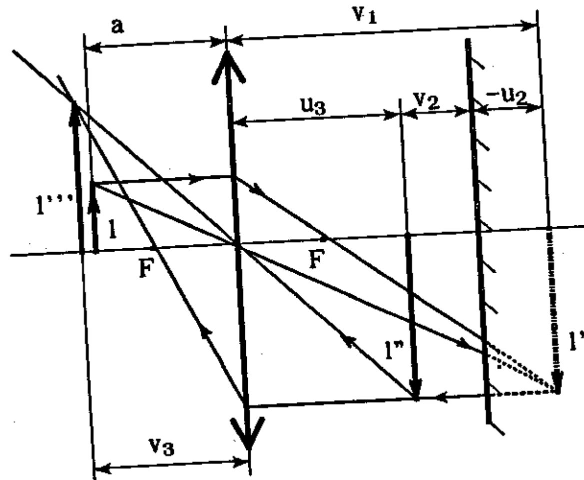
209. $v = 2f - a$

$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} \qquad v_1 = \frac{fa}{a-f} \qquad u_2 = d - v_1 = f - v_1 = \frac{-f^2}{a-f}$$

$$v_2 = -u_2 = \frac{f^2}{a-f} \qquad u_3 = f - v_2 = f - \frac{f^2}{a-f} = \frac{f(a-2f)}{a-f}$$

$$\frac{1}{v_3} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u_3} = \frac{1}{f} - \frac{a-f}{f(a-2f)} = \frac{-1}{a-2f} \qquad v_3 = 2f - a$$

הדמות יכולה לצאת מדומה או ממשית, בהתאם ליחס בין a ו f.



.210 <u>10 ס"מ $> u_1$</u>

דמות מדומה מתקבלת אם $u_2 >$ 30 ס"מ, כלומר $v_1 >$ 15- ס"מ.

$u_1 = 10 \qquad \frac{1}{u_1} = \frac{1}{30} - \frac{1}{-15} = \frac{3}{30}$ ז"א אם $u_1 <$ 10 ס"מ - דמות מדומה.

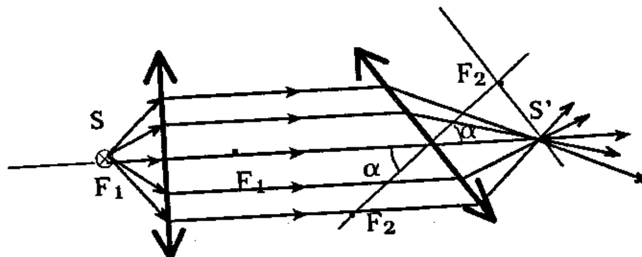
.211 <u>f = -43 ס"מ</u>

עדשת זכוכית: $\frac{1}{f} = \frac{1}{20} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1}\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1.5 - 1}{1} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

עדשה חלולה: $\frac{1}{f} = \frac{1 - 1.3}{1.3} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$ נחלק את שתי המשוואות:

$\frac{f}{20} = \frac{0.5 \cdot 1.3}{-0.3}$ $f = -43$ ס"מ - עדשה מפזרת.

.212 <u>$SS' = f + l + \frac{f}{\cos\alpha}$</u>

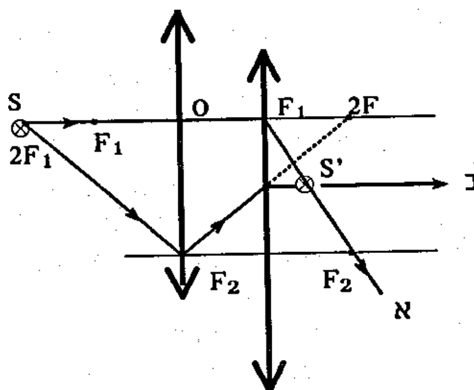


מקור אור נמצא במוקד, לכן אחרי עדשה ראשונה תהיה אלומה מקבילה לציר אופטי ראשי של העדשה הראשונה. אלומה זאת תתרכז במוקד משנה של עדשה שניה. מוצאים את מוקד המשנה על-ידי מפגש מישור המוקד וציר אופטי משנה, המקביל לאלומה הפוגעת.

213. לבניית הדמות משתמשים בשתי קרניים:

א. הקרן, הפוגעת לפי ציר אופטי של עדשה ראשונה, עוברת דרך עדשה ראשונה ללא שבירה. בעדשה שניה היא פוגעת במקביל לציר אופטי שלה, לכן היא נשברת דרך המוקד.

ב. קרן פוגעת בנקודת המפגש של העדשה הראשונה עם ציר אופטי של העדשה השניה. מכיוון שעצם נמצא ב 2F גם הדמות תהיה ב 2F בצד שני, לכן הקרן נשברת בעדשה ראשונה ומכוונת ל 2F. לגבי עדשה שניה, הקרן יוצאת מהמוקד שלה, לכן אחרי שבירה שניה היא מתפשטת במקביל לציר אופטי שני. S' נמצא במרחק $\frac{f}{2}$ מהעדשה השניה ובמרחק $\frac{h}{2}$ מציר אופטי שלה.



214. $\underline{\Delta v = 4.5}$ ס"מ

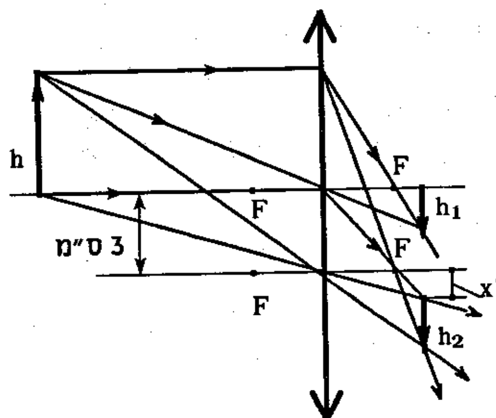
במצב ראשון: $\frac{1}{v} = \frac{1}{4} - \frac{1}{12} = \frac{2}{12}$

$v = 6$ ס"מ $\quad H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$

במצב שני: x' – זוהי דמות של מרחק 3 ס"מ. v ו H ללא שינוי.

$x' = x \cdot H = 3 \cdot \frac{1}{2} = 1.5$ ס"מ

התזוזה: $\Delta v = 3 + 1.5 = 4.5$ ס"מ

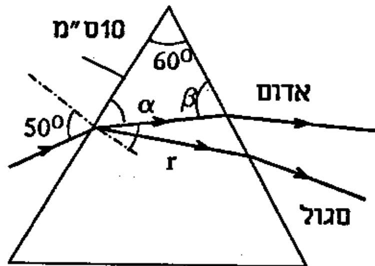


3.3 מנסרות

215. $\Delta = 0.4$ ס"מ

a_1, a_2 – מרחקי יציאת הקרניים מהקודקוד.

a_1 – אור אדום, a_2 – אור סגול.



לגבי אור אדום: $r_1 = 33^o$ $\frac{\sin 50^o}{\sin r_1} = 1.4107$

$\alpha_1 = 90^o - 33^o = 57^o$

$\beta_1 = 180^o - 60^o - 57^o = 63^o$

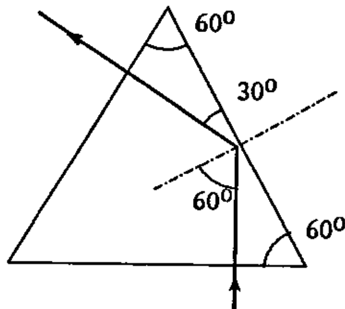
$\frac{10}{\sin 63^o} = \frac{a_1}{\sin 57^o}$ $a_1 = 9.41$ ס"מ

לגבי אור סגול: $r_2 = 31^o$ $\frac{\sin 50^o}{\sin r_2} = 1.4842$

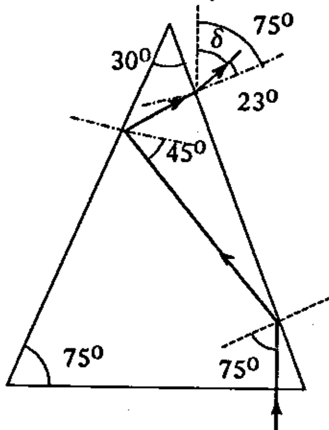
$\alpha_2 = 59^o$ $\beta_2 = 61^o$ $\frac{10}{\sin 61^o} = \frac{a_2}{\sin 59^o}$

$a_2 = 9.8$ ס"מ $\Delta = 9.8 - 9.4 = 0.4$ ס"מ

216. א. $\delta = 120^o$ ב. $\delta = 52^o$



א. בבסיס אין שבירה (קרן מאונכת). בדופן השניה זוית הפגיעה 60^o וזה מעל הזוית הקריטית (42^o), לכן מתקיימת החזרה גמורה ובדופן השלישית קרן פוגעת במאונך, היא יוצאת ללא שבירה. זוית הסטייה 120^o.



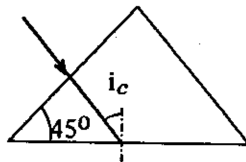
ב. בדופן השניה זוית הפגיעה 75^o וזה מעל הזוית הקריטית, מתרחשת החזרה גמורה, בדופן השלישית זוית הפגיעה 45^o, גם מעל הזוית הקריטית. קרן חוזרת לדופן השניה בזוית הפגיעה 15^o.

$180^o - 30^o - 15^o = 135^o$ $135^o - 90^o = 45^o$

$180^o - 30^o - 45^o = 105^o$ $105^o - 90^o = 15^o$

$\frac{\sin 15^o}{\sin r} = \frac{1}{1.5}$ $r = 23^o$ $\delta = 75^o - 23^o = 52^o$

217. $n = 1.95$



$i_c = 45^o$ $\frac{\sin i_c}{\sin 90^o} = \frac{1.38}{n}$ $n = 1.95$

$\underline{n = 1.6}$ .218

$$n = \frac{\sin\frac{A+\delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{\sin\frac{40^o + 26^o}{2}}{\sin\frac{40^o}{2}} = \frac{\sin 33^o}{\sin 20^o} = 1.6$$

$\underline{\delta\ min = 75^o}$ .219

$$\frac{\sin\frac{60^o+\delta}{2}}{\sin 30^o} = 1.85 \qquad \frac{60^o+\delta}{2} = \text{inv}\sin 0.925 \qquad \delta = 75^o$$

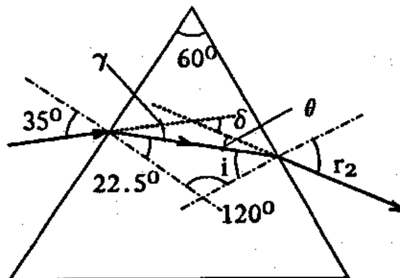
$\underline{A = 56^o}$ .220

$$1.58 = \frac{\sin\frac{A+40^o}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \qquad \sin\left(\frac{A}{2}+\frac{40^o}{2}\right) = \sin\frac{A}{2}\cdot\cos 20^o + \cos\frac{A}{2}\cdot\sin 20^o$$

$$1.58\sin\frac{A}{2} = 0.94\sin\frac{A}{2} + 0.34\cos\frac{A}{2} \qquad 0.64\sin\frac{A}{2} = 0.34\cos\frac{A}{2}$$

$$\tan\frac{A}{2} = 0.53 \qquad A = 56^o$$

$\underline{\delta = 41^o}$. סטיה לא מינימלית .221



$$\frac{\sin 35^o}{\sin r} = 1.5 \qquad r = 22.5^o$$

$$i = 180^o - 120^o - 22.5^o = 37.5^o$$

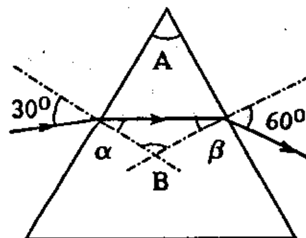
$$\frac{\sin 37.5^o}{\sin r} = \frac{1}{1.5} \qquad r_2 = 66^o$$

$$\gamma = 35^o - 22.5^o = 12.5^o$$

$$\theta = 66^o - 37.5^o = 28.5^o$$

$$\delta = \gamma + \theta = 41^o \qquad \frac{\sin\frac{60^o+41^o}{2}}{\sin\frac{60^o}{2}} = 1.54 \neq 1.5$$

$\underline{A = 54^o}$ .222

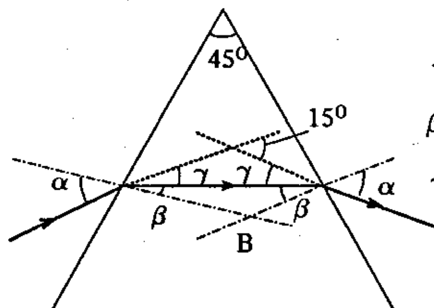


$$\frac{\sin 30^o}{\sin\alpha} = 1.5 \qquad \alpha = 19^o$$

$$\frac{\sin\beta}{\sin 60^o} = \frac{1}{1.5} \qquad \beta = 35^o$$

$$B = 180^o - \alpha - \beta = 126^o$$

$$A = 360^o - 90^o - 90^o - B = 54^o$$



223. $n = 1.3$

$\measuredangle B = 360^o - 90^o - 90^o - 45^o = 135^o$

$\beta = \frac{180^o - 135^o}{2} = 22.5^o \quad 2\gamma = 15^o$

$\gamma = 7.5^o \qquad \alpha = \beta + \gamma = 30^o$

$n = \frac{\sin 30^o}{\sin 22.5^o} = 1.3$

3.5 שריג אופטי

224. $y =$ 0.9 מ"מ

$$y_3 - y_2 = \frac{3\lambda R}{d} - \frac{2\lambda R}{d} = \frac{\lambda \cdot R}{d} = \frac{450 \cdot 10^{-9} \cdot 1.6}{0.8 \cdot 10^{-3}} = 0.9 \text{ מ"מ}$$

225. $\lambda = 3600\text{Å}$

$$\lambda = \frac{y \cdot d}{R} = \frac{0.6 \cdot 10^{-2} \cdot 60 \cdot 10^{-6}}{1} = 3600 \text{ Å}$$

226. $\lambda = 0.31\ \mu m$. $\alpha_1 = 14^o$

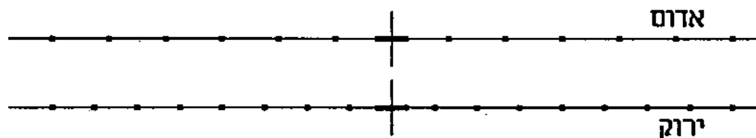
בסדר שלישי: $\lambda = 0.31\ \mu m \quad d = \frac{1}{N} = \frac{1}{800} mm = 1.25\ \mu m \quad 3\lambda = d \cdot \sin\alpha_3$

בסדר ראשון: $\alpha_1 = 14^o \qquad d \cdot \sin\alpha_1 = \lambda$

227. א. y ביחס הפוך ל d – תמונה צפופה יותר.
ב. y ביחס ישר ל λ – תמונה צפופה יותר.
ג. לא משתנה, כי d לא השתנה.
ד. y ביחס ישר ל R – תמונה צפופה יותר.

228. כן. צפופה יותר

אור ירוק בעל אורך גל קצר יותר מאדום, לכן התמונה תהיה צפופה יותר.



229. $y =$ 0.02 מ' . $2y =$ 4 ס"מ

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{4.6 \cdot 10^{14}} = 0.65\ \mu m \quad y_1 = \frac{\lambda \cdot R}{d} = \frac{0.65 \cdot 10^{-6} \cdot 0.6}{2 \cdot 10^{-5}} =$ 0.02 מ'

עובי של הפס המרכזי: $2y =$ 4 ס"מ

230. $\lambda = 0.58\ \mu m$

$y_1 =$ 14 מ"מ (חצי פס האור המרכזי)

$$\lambda = \frac{y \cdot d}{R} = \frac{14 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 \cdot 10^{-3}}{1.2} = 0.58\ \mu m$$

$y_2 = \frac{\lambda \cdot R}{d_2} = \frac{0.58 \cdot 10^{-6} \cdot 1.2}{5 \cdot 10^{-3}} = 0.14$ מ"מ – צפוף מאד, לא ניתן להפריד בין פסים.

231. שריג שני

$N_2 = 800$ $\frac{\text{קוים}}{\text{ס"מ}}$ $= 80$ $\frac{\text{קוים}}{\text{מ"מ}}$ $\quad 800 > 600 \quad N_2 > N_1 \quad y = mR\lambda N \quad y_2 > y_1$

232. $\lambda = 0.75\ \mu m$

לקרניים, היוצרות פס כהה שני, יש הפרש מופע של 1.5λ. $\quad 1.5\lambda = d \cdot \sin\alpha$

$d = \frac{1}{625}$ מ"מ $\quad \lambda = \frac{d \cdot \sin\alpha}{1.5} = \frac{\sin 45^o}{625 \cdot 1.5} = 0.75\ \mu m$

233. $\varphi = \pi$

$y_1 = \frac{\lambda \cdot R}{d} = \frac{0.6 \cdot 10^{-6} \cdot 0.8}{35 \cdot 10^{-6}} = 1.4$ ס"מ $\quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 0.6\ \mu m$

מרחק הפס הכהה השני מהמרכז הוא: $\frac{3y}{2} = 2.1$ ס"מ, כלומר הוא מוזז ב $2.8 - 2.1 = 0.7 = \frac{\lambda}{2}$, לכן הפרש מופע, המתאים לחצי אורך גל הוא π רדיאן (180^o).

234. $R = 0.5$ מ'

$R = \frac{y \cdot d}{\lambda \cdot m} = \frac{2.1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0.42 \cdot 10^{-6}} = 0.5$ מ' $\quad d = \frac{1}{50}$ ס"מ $= 2 \cdot 10^{-4}$ מ'

235. $d = 0.25$ מ"מ

$d = \frac{m \cdot \lambda \cdot R}{y} = \frac{1.5 \cdot 0.7 \cdot 10^{-6} \cdot 1.2}{5 \cdot 10^{-3}} = 0.25$ מ"מ $\quad$ הפס הכהה השני מרוחק בהפרש מופע 1.5λ.

236. $N = 695$ $\frac{\text{קוים}}{\text{מ"מ}}$

רוחב הפס המרכזי שווה $2y$, לכן $y_1 = 33$ ס"מ

$N = \frac{y_1}{\lambda R} = \frac{0.33}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 0.95} = 695$ $\frac{\text{קוים}}{\text{מ"מ}}$

237. $N = 2373$ $\frac{\text{קוים}}{\text{ס"מ}}$

$d = \frac{3\lambda}{2\sin\alpha} = \frac{3 \cdot 5.6 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \sin 11.5^o} = 4.2 \cdot 10^{-6}$ מ' $\quad d \cdot \sin\alpha = \frac{3}{2}\lambda \quad N = \frac{1}{d} = 2373$

238. <u>חושך</u>

המקסימום הראשון מתקבל בתנאי:

$\lambda_1 = d \cdot \sin\alpha = 0.75\ \mu m$

לגבי $\lambda_2 = 0.5\ \mu m$ – מרחק $1.5\lambda = 0.75\ \mu m$ – כלומר זוהי נקודת חושך.

פרק 4 מכשירים אופטיים

4.1 זכוכית מגדלת ומשקפיים

239. <u>$M = 3$</u>

תרשים בעמ' 69. $u = 6.7$ ס"מ

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{10} - \frac{1}{-20} = \frac{3}{20}$$

$$M = \frac{\frac{1}{6.7}}{\frac{1}{20}} = 3$$

240. <u>$M_{max} = 4.125,\ M_{min} = 3.125$</u>

$$M_{min} = \frac{25}{f} = 3.125 \qquad M_{max} = \frac{25}{f} + 1 = 4.125 \qquad f = \frac{1}{D} = 0.08\ \text{מ'} = 8\ \text{ס"מ}$$

241. <u>$M = 3.2$, $f = 16$ ס"מ</u>

$$M = \frac{\frac{1}{u}}{\frac{1}{v}} = \frac{35}{11} = 3.2 \qquad f = 16\ \text{ס"מ} \qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{11} + \frac{1}{-35} = \frac{1}{16}$$

242. <u>$f = 5.5$ ס"מ, $u = 4.4$ ס"מ</u>

$$f = 5.5\ \text{ס"מ} \qquad \frac{1}{f} = \frac{1}{4.4} + \frac{1}{-22} \qquad u = \frac{v}{M} = \frac{22}{5} = 4.4\ \text{ס"מ} \qquad M = \frac{\frac{1}{u}}{\frac{1}{v}} = \left|\frac{v}{u}\right|$$

243. <u>$v = -10$ ס"מ</u>

$$v = -10\ \text{ס"מ} \qquad \frac{1}{v} = \frac{1}{10} - \frac{1}{5} = \frac{-1}{10} \qquad f = \frac{1}{D} = \frac{1}{10} = 0.1\ \text{מ'} = 10\ \text{ס"מ}$$

244. <u>$u = 2.8$ ס"מ</u>

לעין בריאה מרחק ראייה ברורה ביותר להגדלה מירבית הוא 25 ס"מ.

$$u = 2.8\ \text{ס"מ} \qquad \frac{1}{u} = \frac{1}{3.125} - \frac{1}{-25} \qquad f = 3.125\ \text{ס"מ} \qquad M = \frac{25}{f} + 1$$

245. <u>$F = 4D$</u>

כשאדם צופה בכוכבים, $u = \infty$, דמות במוקד $v = f_1$ וזהו עומק העין. כשאדם

מסתכל על הספר, 25 ס"מ $= u_2$, דמות גם ברשתית אך מוקד העין השתנה.

$$\Delta F = F_2 - F_1 = \frac{1}{25} + \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_1} = 4D \qquad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{25} + \frac{1}{f_1}$$

.246 $F = -2.25D$

הוא רואה היטב במרחק 16 ס"מ, כלומר שם נוצרת דמות על-ידי משקפיים.

$F = -2.25D$ $\qquad$ f = −44.4 ס"מ $\qquad$ $\frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-16}$

.247 20 ס"מ ÷ 11 ס"מ

u_1 = 11 ס"מ $\qquad$ $\frac{1}{u_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{-25}$ $\qquad$ $f = \frac{1}{5}$ = 0.2 מ' = 20 ס"מ

u_2 = 20 ס"מ $\qquad$ $v_2 = \infty$

.248 $F = 2.75D$

F 2.75D $\qquad$ $F = \frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-80} = \frac{11}{400}$

.249 u = 44 ס"מ

u = 44 ס"מ $\qquad$ $\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{62.5} - \frac{1}{-150}$

.250 v = −38 ס"מ

v = −38 ס"מ $\qquad$ $\frac{1}{v} = \frac{1}{-83} - \frac{1}{70}$ $\qquad$ $f = \frac{1}{D} = \frac{1}{-1.2}$ = −0.83 מ' = −83 ס"מ

.251 $F = -5D.\ F = -1D$

א. $F = \frac{1}{-1} = -1D$ $\qquad$ f = −100 ס"מ $\qquad$ $\frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-20} = \frac{-1}{100}$

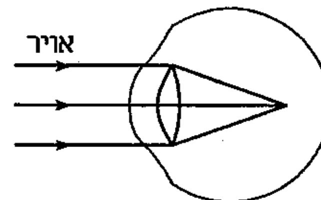
ב. $F = \frac{1}{-0.2} = -5D$ $\qquad$ f = −20 ס"מ $\qquad$ $\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-20}$

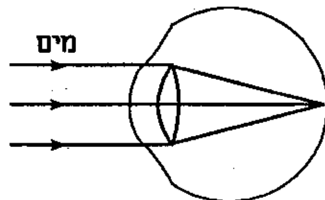
.252 $F = -2D\ .F = 2D$

$$F = \frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-50} = \frac{1}{50} = 2D \qquad F = \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-50} = -2D$$

.253 קוצר ראייה

במעבר אויר-עין קרניים נשברות חזק יותר מאשר במעבר מים-עין. ז"א באויר הוא לוקה בקוצר ראייה.





.254 $F = -8D$

$v = -10$ ס"מ $\frac{1}{v} = \frac{1}{-18} - \frac{1}{25}$ $f = \frac{1}{-5.5} = -18$ ס"מ

$F = \frac{1}{-12.5} = -8D$ $f = -12.5$ ס"מ $\frac{1}{f} = \frac{1}{50} + \frac{1}{-10} = \frac{-4}{50}$

4.2 מיקרוסקופ

.255 $v_2 = -24$ ס"מ. $M_{min} = 67$

חרשים בעמ' 71. $v_1 = 13.6$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_0} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{0.8} - \frac{1}{0.85}$

$v_2 = -24$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{6} - \frac{1}{4.8}$ $u_2 = d - v_1 = 18.4 - 13.6 = 4.8$ ס"מ

$$M_{min} = \frac{(v_1 - f_0) \cdot 25}{f_0 \cdot f_e} = \frac{12.8 \cdot 25}{0.8 \cdot 6} = 67$$

.256 $v_3 = -100$ ס"מ. $M_{min} = 50$

$u_2 = d - v_1 = 15 - 11 = 4$ ס"מ $v_1 = 11$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{1} - \frac{1}{1.1}$

$v_2 = -20$ ס"מ $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{5} - \frac{1}{4} = \frac{-1}{20}$ זהו עצם למשקפיים: $u_3 = 20$ ס"מ

$v_3 = -100$ ס"מ $\frac{1}{v_3} = \frac{1}{25} - \frac{1}{20} = \frac{-1}{100}$ $f_3 = \frac{1}{4} = 0.25$ מ' $= 25$ ס"מ

זהו מרחק ראייה ברורה ביותר של העין. $M_{min} = \frac{10 \cdot 25}{1 \cdot 5} = 50$

.257 $u_1 = 0.52$ ס"מ. $M_{max} = 123.6$ שרטוט בעמ' 71

$v_1 = d - u_2 = 15 - 4.2 = 10.8$ ס"מ $u_2 = 4.2$ ס"מ $\frac{1}{u_2} = \frac{1}{5} - \frac{1}{-25}$

$H_T = \left|\frac{v_1 \cdot v_2}{u_1 \cdot u_2}\right| = \frac{10.8 \cdot 25}{0.52 \cdot 4.2} = 123.6$ $u_1 = 0.52$ ס"מ $\frac{1}{u_1} = \frac{1}{0.5} - \frac{1}{10.8}$

$$M_{max} = \frac{(v_1 - f_0)}{f_0} \cdot \left(\frac{25}{f_e} + 1\right) = \frac{10.8 - 0.5}{0.5} \cdot \left(\frac{25}{5} + 1\right) = 123.6$$

.258 $d = 9.1$ ס"מ. $l' = 3.76$ מ"מ

$u_2 = 6.1$ ס"מ $\frac{1}{u_2} = \frac{1}{8.3} - \frac{1}{-23}$ $f_2 = \frac{1}{12} = 0.083$ מ' $= 8.3$ ס"מ

$d = v_1 + u_2 = 9.1$ ס"מ $v_1 = 3$ ס"מ $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{0.5} - \frac{1}{0.6} = \frac{1}{0.33}$

$l' = l \cdot H = 0.2 \cdot 18.8 = 3.76$ מ"מ $H = \left|\frac{3 \cdot 23}{0.6 \cdot 6.1}\right| = 18.8$

259. $M_e = 7.9$

$$M_{min} = \frac{v_1 - 0.5}{0.5} \cdot \frac{25}{f_e} = 200 \qquad v_1 + u_2 = 16 \qquad \frac{1}{u_2} + \frac{1}{-25} = \frac{1}{f_e}$$

$$u_2 = \frac{25 \cdot f_e}{25 + f_e} \qquad v_1 = 16 - u_2 = 16 - \frac{25f_e}{25 + f_e} = \frac{400 - 9f_e}{25 + f_e}$$

$$25v_1 - 12.5 = 100f_e \qquad 25 \cdot \frac{400 - 9f_e}{25 + f_e} - 12.5 = 100f_e$$

$$100f_e^2 + 2737.5f_e - 9687.5 = 0 \qquad f_e = 3.17 \qquad M_e = \frac{25}{f_e} = 7.9$$

260. $f_o =$ ס"מ 0.3

$$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{4} - \frac{1}{-25} = \frac{29}{100}$$ $u_2 =$ ס"מ 3.4 $\quad u_2 + v_1 = 18 \quad v_1 =$ ס"מ 14.6

$$M_{min} = \frac{v_1 - f_o}{f_o} \cdot \frac{25}{4} = 300 \qquad v_1 - f_o = 48f_o \qquad v_1 = 49f_o \qquad f_o = 0.3$$

261. $M_{min} = 100$

$$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{5} - \frac{1}{-25}$$ $u_2 =$ ס"מ 4.2 $\quad v_1 = d - u_2 = 21 - 4.2 =$ ס"מ 16.8

$$M_{min} = \frac{v_1 - f_0}{f_0} \cdot \frac{25}{f_e} = \frac{16.8 - 0.8}{0.8} \cdot \frac{25}{5} = 100$$

262. $f_0 =$ מ"מ 6

$$\text{Mmin} = \frac{v_1 - f_o}{f_o} \cdot \frac{25}{1.25} = 1260 \qquad v_1 - f_o = 63f_o \qquad v_1 = 64f_o$$

$$\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_o} - \frac{1}{0.61} \qquad v_1 = \frac{0.61f_o}{0.61 - f_o} = 64f_o$$ $f_o =$ מ"מ 6

263. $f_e =$ ס"מ 0.5

$$M_{min} = \frac{v_1 - 0.3}{0.3} \cdot \frac{25}{f_e} = 2500 \qquad v_1 = 30f_e + 0.3 \qquad \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e} - \frac{1}{-25}$$

$$u_2 = \frac{25f_e}{25 + f_e} \qquad v_1 + u_2 - f_o - f_e = 30f_e + 0.3 + \frac{25f_e}{25 + f_e} - 0.3 - f_e = 15$$

$$29f_e^2 + 735f_e - 375 = 0$$ $f_e =$ ס"מ 0.5

264. $f_o =$ ס"מ 0.39

$$M_{min} = \frac{v_1 - f_o}{f_o} \cdot \frac{25}{0.6} = 2000 \qquad v_1 = 49f_o \qquad \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e} - \frac{1}{-25}$$

$u_2 =$ ס"מ 0.59 $\quad u_2 + v_1 - f_o - f_e = 0.59 + 49f_o - f_o - 0.6 = 18.5$

$48f_o = 18.51$ $\quad f_o =$ ס"מ 0.39

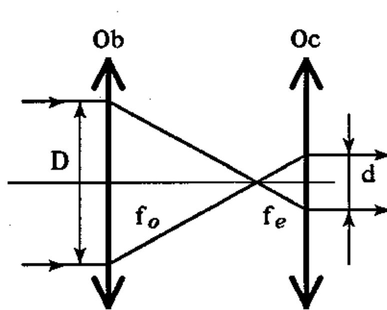
4.3 טלסקופ

265. א. בטלסקופ אורכו שווה לסכום או הפרש מוקדים של אוביקטיב ואוקולר, במיקרוסקופ אורכו גדול מסכום המוקדים.

ב. מיקרוסקופ עובד עם עצמים קטנים וקרובים, טלסקופ - עם גופים גדולים ורחוקים.

ג. בטלסקופ מוקד האוביקטיב צריך להיות גדול כדי להקנות הגדלה טובה, במיקרוסקופ מוקד האוביקטיב צריך להיות קטן (מוקד האוקולר בשניהם קטן).

266. הגדלה הופכת להקטנה. $M = \frac{f_e}{f_o} < 1$



267. $\underline{M = 20}$

$$M = \frac{f_o}{f_e} = \frac{D}{d} = \frac{8}{0.4} = 20$$

268. $\underline{\beta = 6.25^o}$

$$M = \frac{f_o}{f_e} = \frac{\beta}{\alpha} \qquad \beta = \frac{100}{8} \cdot 0.5^o = 6.25^o$$

269. <u>ב 0.36 ס"מ</u>

הדמות צריכה להיות במוקד האוקולר אשר מתלכד עם מוקד האוביקטיב.

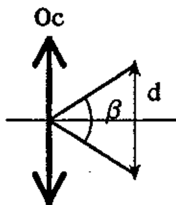
$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{0.6} - \frac{1}{100} \qquad v = 60.36 \text{ ס"מ}$$

ז"א הדמות מתקבלת במרחק 0.36 ס"מ ממוקד האוביקטיב, לכן יש להזיז את האוביקטיב ב 0.36 ס"מ רחוק מאוקולר, ואז הדמות תתקבל במוקד האוקולר.

270. $\underline{M = 2.8}$

$$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{5} - \frac{1}{-30} = \frac{7}{30} \qquad u_2 = 4.3 \text{ ס"מ} \qquad M = \frac{f_o}{u_2} = \frac{12}{4.3} = 2.8$$

271. <u>604.3 = l ס"מ. M = 140. d = 3.67 ס"מ</u>

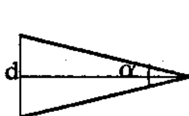


$$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{5} - \frac{1}{-30} \qquad u_2 = 4.3 \text{ ס"מ} \qquad l = 600 + 4.3 = 604.3$$

$$M = \frac{f_o}{u_2} = \frac{600}{4.3} = 140 \qquad \beta = 3' \cdot 140 = 420' = 7^o$$

$$d = 2 \cdot 30 \cdot \tan\ 3.5^o = 3.67 \text{ ס"מ}$$

272. <u>d = 475 מ'</u>



$$M = 800 = \frac{f_o}{f_e} = \frac{\beta}{\alpha} \qquad \alpha = \frac{0.001}{800} = 1.25 \cdot 10^{-6}\ \text{Rad}$$

$$d = 2r \cdot \tan\frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 380 \cdot 10^6 \cdot \tan 0.625 \cdot 10^{-6} = 475 \text{ מ'}$$

273. $f_e =$ 4 ס"מ, $f_o =$ 36 ס"מ

בטלסקופ גלילי: 40 ס"מ $= 45 - 5 = l$

$$M = \frac{f_o}{f_e} = \frac{45}{5} = 9$$

בטלסקופ קפלר: $10f_e = 40$ $\quad f_o = 9f_e \quad \frac{f_o}{f_e} = 9 \quad f_o + f_e = 40$

$f_o =$ 36 ס"מ

$f_e =$ 4 ס"מ

274. $a =$ 1 ס"מ

כאשר הטלסקופ מכוון לאינסוף, הדמות מתקבלת במוקד של אוביקטיב במרחק 24 ס"מ אשר מתלכד עם מוקד של אוקולר. כאשר מסתכלים על העצם, הנמצא במרחק 6 מ', הדמות מתקבלת: $v =$ 25 ס"מ $\quad \frac{1}{v} = \frac{1}{24} - \frac{1}{600}$

יש להזיז אוקולר ב 1 ס"מ, כדי שדמות אחרי אוביקטיב תתקבל במוקד האוקולר.

275. $l =$ 31 ס"מ

$l = 25 + 6 =$ 31 ס"מ $\quad u_2 =$ 6 ס"מ $\quad \frac{1}{u_2} = \frac{1}{8} - \frac{1}{-25} = \frac{33}{200}$

276. $M = 2$

$M = \left|\frac{f_o}{u_2}\right| = \left|\frac{16}{8}\right| = 2 \quad u_2 = -$8 ס"מ $\quad \frac{1}{u_2} = \frac{1}{-6} - \frac{1}{-24} = \frac{-3}{24}$

277. $l =$ 506.25 ס"מ, $M = 80$, $\varphi = 0.52'$

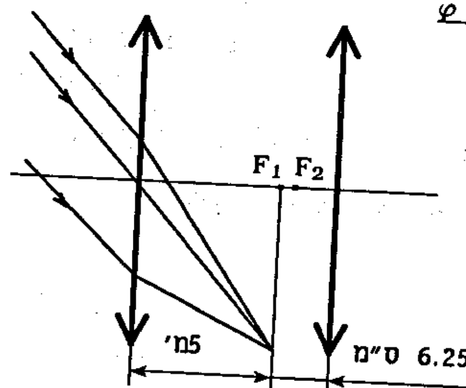
$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{5} - \frac{1}{25} \quad u_2 =$ 6.25 ס"מ

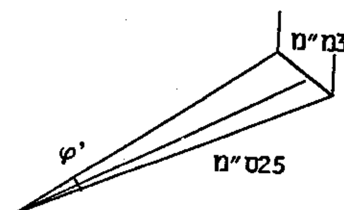
$l = 500 + 6.25 =$ 506.25 ס"מ

$$M = \frac{f_o}{u_2} = \frac{500}{6.25} = 80$$

$\tan\frac{\varphi'}{2} = \frac{0.15}{25} \quad \varphi' = 0.69^o$

$M = \frac{\varphi'}{\varphi} \quad \varphi = \frac{0.69^o}{80} = 0.52'$





4.4 משקפת ומצלמה

.278 $v = 6.12$ ס"מ, $l' = 5.1$ מ"מ

$v = 6.12$ ס"מ

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{6} - \frac{1}{300} = \frac{49}{300}$$

$$l' = l \cdot \frac{v}{u} = 25 \cdot \frac{6.12}{300} = 5.1 \text{ מ"מ}$$

$$\frac{l'}{l} = \left|\frac{v}{u}\right|$$

.279 $x = 25$ ס"מ

המרחק בין אוביקטיב ובין סרט צילום אינו משתנה כאשר מוסיפים עדשה.

ללא עדשה: $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{0.5}$

עם העדשה: $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + 2 - \frac{1}{x}$

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{0.5} = \frac{1}{f} + 2 - \frac{1}{x}$$

$x = 0.25$ מ' $= 25$ ס"מ $\qquad \frac{1}{x} = 4$

.280 $F = 4D$

$$F = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{4} + \frac{1}{0.27} = 4D$$

$v = 26.7$ ס"מ $\qquad v = u \cdot \frac{l'}{l} = 4 \cdot \frac{0.08}{1.2} \qquad \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{l'}{l}$

.281 $u = 148.5$ ס"מ

$$\frac{1}{10v} + \frac{1}{v} = \frac{1}{13.5} \qquad u = 10v \qquad \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{1}{10} \qquad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{13.5}$$

$u = 148.5$ ס"מ

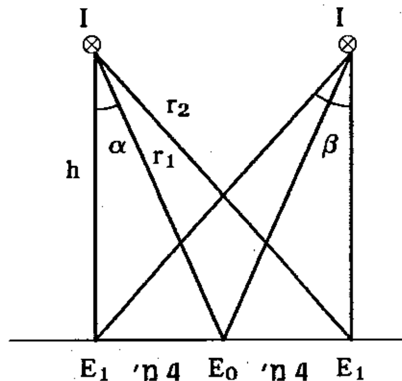
$v = 14.85$ ס"מ

.282 תיכנס

$$l' = l \cdot \frac{v}{u} = 120 \cdot \frac{8.14}{450} = 2.17 \text{ ס"מ}$$

$v = 8.14$ ס"מ $\qquad \frac{1}{v} = \frac{1}{8} - \frac{1}{450}$

תמונתו של העץ תיכנס כי 3.5 ס"מ > 2.17 ס"מ.



.283 $E_0 = 16$ lux. $E_1 = 16.9$ lux

$r_1 = \sqrt{4^2 + 6^2} =$ 7.2 מ'

$r_2 = \sqrt{6^2 + 8^2} =$ 10 מ'

$$E_1 = \frac{I}{h^2} + \frac{I}{r_2^2} \cdot \cos\beta$$

$$E_1 = \frac{500}{36} + \frac{500}{100} \cdot \frac{6}{10} = 16.9 \text{ lux}$$

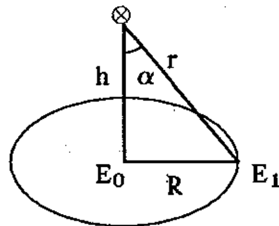
$$E_0 = 2 \cdot \frac{I}{r_1^2} \cdot \cos\alpha$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot 500}{7.2^2} \cdot \frac{6}{7.2} = 16 \text{ lux}$$

.284 $E_0 = 25.9$ lux. $E_1 = 21.1$ lux

נורת להט מאירה בזוית מרחבית 4π ster.

$$I = \frac{\phi}{4\pi} = \frac{1300}{4\pi} = 103.5 \text{ cd}$$



$$E_0 = \frac{I}{h^2} = \frac{103.5}{4} = 25.9 \text{ lux}$$

$r = \sqrt{2^2 + 0.75^2} =$ 2.14 מ'

$$E_1 = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\alpha = \frac{103.5}{2.14^2} \cdot \frac{2}{2.14} = 21.1 \text{ lux}$$

.285 $h = \sqrt{\frac{I}{E}} =$ 3.16 מ'

.286 פי 3

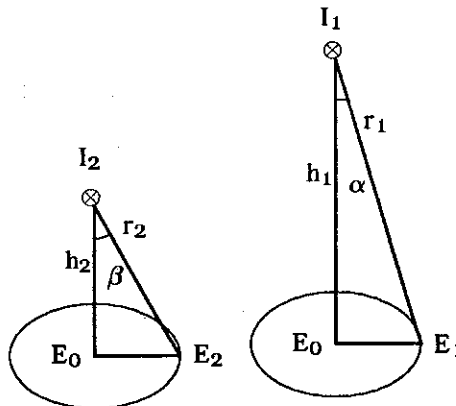
$$E_0 = \frac{I_1}{h_1^2} = \frac{I_2}{h_2^2}$$

$h_2 = \sqrt{\frac{I_2 \cdot h_1^2}{I_1}} =$ 1 מ'

$r_1 = \sqrt{2^2 + 1.5^2} =$ 2.5 מ'

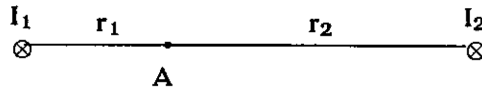
$r_2 = \sqrt{1^2 + 1.5^2} =$ 1.8 מ'

$$\frac{E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} \cdot \cos\alpha}{E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} \cdot \cos\beta} = \frac{\frac{100}{2.5^2} \cdot \frac{2}{2.5}}{\frac{25}{1.8^2} \cdot \frac{1}{1.8}} = 3$$



287. $r_1 = 0.83$ מ'

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} = E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} = \frac{I_2}{(2.5 - r_1)^2} \qquad \frac{25}{r_1^2} = \frac{100}{(2.5 - r_1)^2} \qquad r_1 = 0.83 \text{ מ'}$$



288. $\phi = 2513 \text{ lm}$

$$\phi = I \cdot \omega = 4\pi \cdot I$$

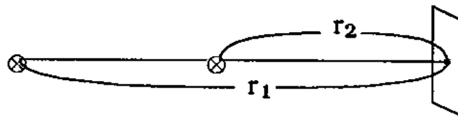
289. $r_1 = 9$ מ' , $r_1' = 1$ מ'

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{25}{r_1^2} = 2 \cdot \frac{8}{(1.8 - r_1)^2}$$

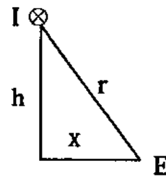
$$r_1^2 - 10r_1 + 9 = 0$$

$r_1 = 9$ מ' $r_2 = 7.2$ מ' – שתי הנורות נמצאות באותו צד של הדף.

$r_1' = 1$ מ' $r_2' = 0.8$ מ' – הנורות נמצאות בשני צדי הדף.



290. $x = 18.3$ מ'

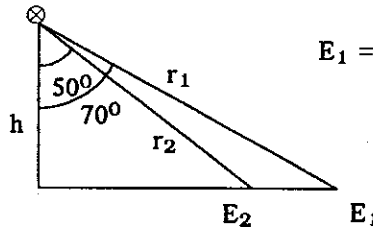


$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\alpha = \frac{I}{r^2} \cdot \frac{h}{r}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{I \cdot h}{E}} = 20$$

$$x = \sqrt{20^2 - 8^2} = 18.3$$

291. $E = 66 \text{ lux}$



$$E_1 = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos 70^o}\right)^2} \cdot \cos 70^o = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 70^o$$

$$\frac{I}{h^2} = \frac{E_1}{\cos^3 70^o} = 250$$

$$E_2 = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos 50^o}\right)^2} \cdot \cos 50^o = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 50^o = 250 \cdot \cos^3 50^o = 66 \text{ lux}$$

292. $x = 21.6m$ מ'

$$E_T = \frac{I_1 \cdot 8}{(8^2 + x^2) \cdot \sqrt{8^2 + x^2}} + \frac{I_2 \cdot 27}{(27^2 + x^2) \cdot \sqrt{27^2 + x^2}}$$

אחרי החלפה:

$$E_T = \frac{I_1 \cdot 27}{\sqrt{(27^2 + x^2)^3}} + \frac{I_2 \cdot 8}{\sqrt{(8^2 + x^2)^3}}$$

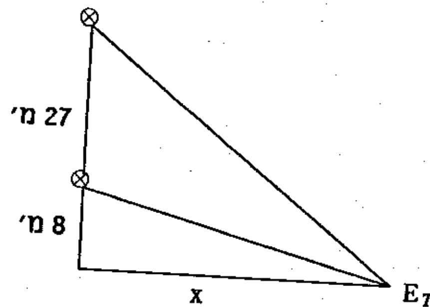
מכיוון שהארה לא השתנתה:

$$\frac{8I_1}{\sqrt{(8^2 + x^2)^3}} + \frac{27I_2}{\sqrt{(27^2 + x^2)^3}} = \frac{8I_2}{\sqrt{(8^2 + x^2)^3}} + \frac{27I_1}{\sqrt{(27^2 + x^2)^3}}$$

$$\frac{8}{\sqrt{(8^2 + x^2)^3}} \cdot (I_1 - I_2) = \frac{27}{\sqrt{(27^2 + x^2)^3}} \cdot (I_1 - I_2)$$

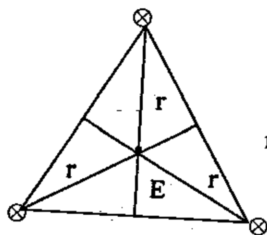
$$\sqrt[3]{\left(\frac{8}{8^2+x^2}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{27}{27^2 + x^2}\right)^2} \qquad \frac{4}{8^2 + x^2} = \frac{9}{27^2 + x^2}$$

$x = 21.6$ מ'



293. $E = 357$ lux

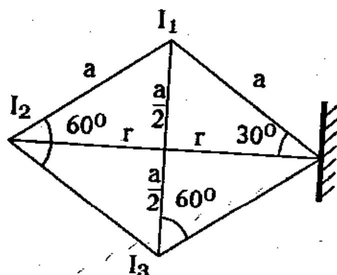
h - גובה המשולש, a - צלעו



$$r = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \cdot 0.5^2} = 0.29 \text{ מ'}$$

$$E = 3 \cdot \frac{I}{r^2} = \frac{3 \cdot 10}{0.29^2} = 357 \text{ lux}$$

294. $I = 52$ cd



$E_2 = 2E_1$

$2E_1 + E_2 = 2 \cdot 2\ E_1 = 4E_1$

$(2r)^2 = 3a^2$

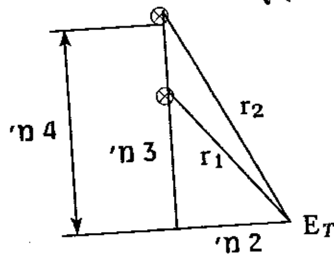
$r = \sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$

$I_2 = 52$ cd

$\frac{I_2}{3a^2} = 2 \cdot \frac{I_1}{a^2} \cos 30^o$

$E = 21.7\ lux$ .295

$$E_T = \frac{I \cdot 3}{\sqrt{(3^2 + 2^2)^3}} + \frac{I \cdot 4}{\sqrt{(4^2 + 2^2)^3}} = 21.7\ lux$$



1.13 פי .296

מראה יוצרת דמות של מקור אור, כאילו זה מקור אור נוסף, הנמצא במרחק S'A מנקודה A. ממקור S בנקודה A הארה היא: $E_1 = \frac{I}{a^2}$

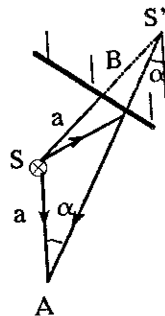
ההארה הכוללת עם המראה היא:

$$AS' = \sqrt{a^2 + (2a)^2 - 2a \cdot a \cdot \cos 135^o} = \sqrt{5a^2 + a^2\sqrt{2}} = 2.53a$$

לפי משפט סינוסים: $\alpha = 34^o$ $\quad \frac{2a}{\sin\alpha} = \frac{2.53a}{\sin 135^o}$

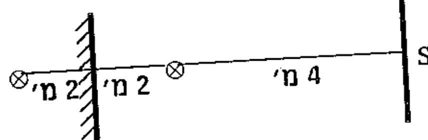
$$E_2 = \frac{I}{a^2} + \frac{I \cdot \cos 34^o}{a^2(5 + \sqrt{2})} = \frac{I}{a^2} \cdot 1.13$$

$$\frac{E_2}{E_1} = 1.13$$



$\phi = 3.75\ lm$ .297

$$\phi = I \cdot \omega_1 + I \cdot \omega_2 = \frac{I \cdot S}{r_1^2} + \frac{I \cdot S}{r_2^2}$$



$$\phi = \frac{96 \cdot 0.5}{4^2} + \frac{96 \cdot 0.5}{8^2} = 3.75\ lm$$

R = 1000 מ' .298

$$E = \frac{I}{R^2} = \frac{\phi}{S}$$

$$R = \sqrt{\frac{I \cdot S}{\phi}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 0.4 \cdot 10^{-4}}{400 \cdot 10^{-13}}} =$$ 1000 מ'

R = 3.5 מ' .299

$$\eta = 100\% - 37.5\% = 62.5\% \qquad E = \frac{I \cdot \eta}{R^2} \qquad R = \sqrt{\frac{I \cdot \eta}{E}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0.625}{100}}$$

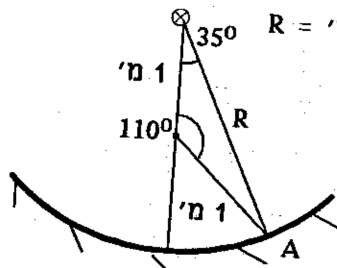
R = 3.5 מ'

300. $\underline{E = 16\ lux}$

לפי משפט קוסינוס: $R^2 = 1^2 + 1^2 - 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \cos 110^o$

R = 1.6 מ'

$$E = \frac{I}{R^2} \cdot \cos 35^o = 16\ lux$$

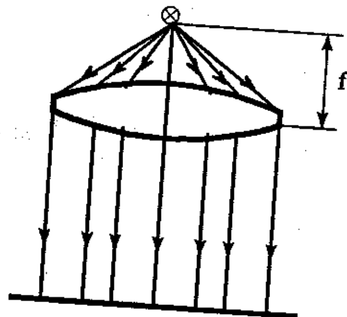


301. $\underline{E = 400\ lux}$

f = $\frac{1}{4}$ = 0.25 מ'

מכיוון שהקרניים יוצאות מהמוקד, הן ממשיכות אחרי עדשה במקביל לציר אופטי שלה, לכן הארה על השולחן תהיה כמו הארה על העדשה (מתייחסים להארה במרכז העדשה):

$$E = \frac{I}{f^2} = \frac{25}{0.25^2} = 400\ \ lux$$



302. <u>פי 9801</u>

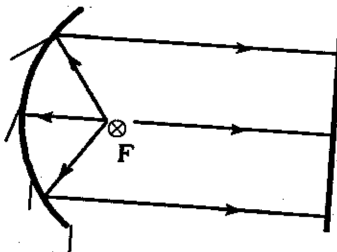
הארה עם מראה שווה להארה על שטח המראה, כי אחרי החזרה מהמראה הקרניים מתפשטות באלומה מקבילה.

f = $\frac{R}{2}$ = 25 ס"מ

הארה עם מראה: $E_1 = \frac{I}{f^2} = \frac{I}{0.25^2}$

הארה בלי מראה: $E_2 = \frac{I}{24.75^2}$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{24.75^2}{0.25^2} = 9801$$



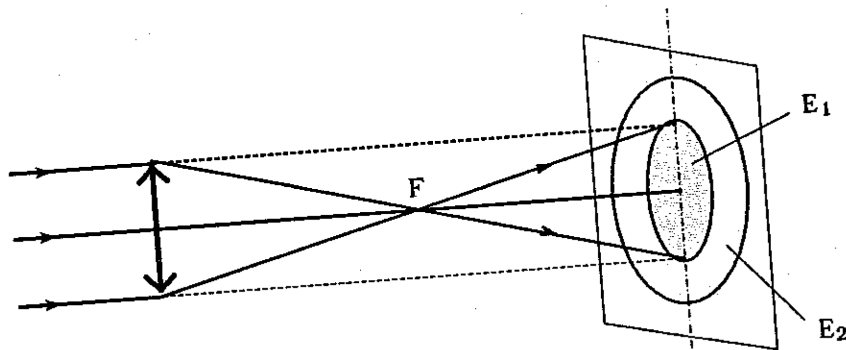
303 $\underline{E_1 = 2500\ lux.\ E_2 = 12500\ lux}$

קוטר הכתם על המסך גדול מקוטר העדשה: $\frac{D}{d} = \frac{40}{20} = 2$ שטף האור אינו משתנה, ככל ששטח הפגיעה גדול יותר, ההארה תהיה קטנה יותר. $E = \frac{\phi}{S}$

$$\frac{S_כ}{S_ע} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4}} = 4$$

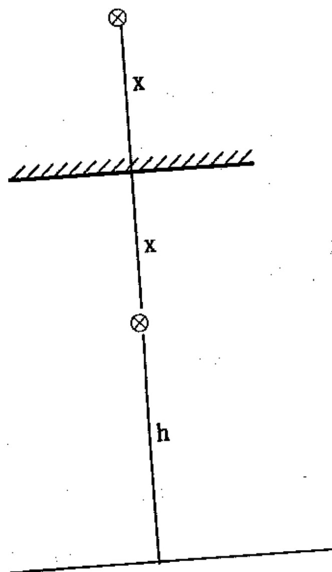
הארה בצל העדשה: $E_1 = \frac{10\ 000}{4} = 2500\ lux$

הארה בטבעת בהירה: $E_2 = E_1 + E_0 = 12500 \text{ lux}$



.304 $\underline{E_T = 2I \cdot \frac{2x^2 + 2xh + h^2}{h^2(2x + h)^2}}$

$$E_T = \frac{I}{h^2} + \frac{I}{(2x + h)^2} = I \cdot \frac{4x^2 + 4xh + 2h^2}{h^2(2x + h)^2} = 2I \cdot \frac{2x^2 + 2xh + h^2}{h^2(2x + h)^2}$$



.305 $\underline{E = 0.562}$

הארה בנקודה A מורכבת משלוש הארות: ממקור C עצמו ומשתי דמויותיו K ו-D

$E_C = \frac{I}{2l^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{I \cdot 0.35}{l^2}$ $(\sphericalangle BCA = 45^o)$ $\quad BC = l \quad AB = l \quad AC = l\sqrt{2}$

$\sphericalangle DCA = 90^o + 45^o = 135^o$

$CD = 2l$

לפי משפט קוסינוס: $(AD)^2=4\,l^2 + 2\,l^2 - 2\sqrt{2}\,l^2 \cdot \cos 135^o = 8\,l^2$

$AD = 2.8 \cdot l$

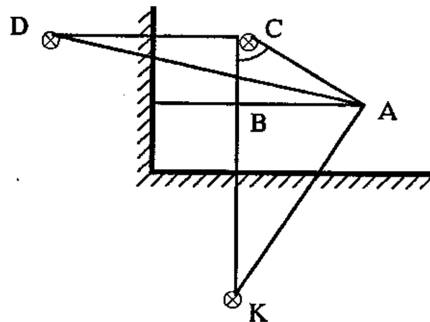
לפי משפט סינוס: $\frac{AD}{\sin 135^o} = \frac{AC}{\sin \angle CDA}$ $\sin \angle CDA = \frac{\sin 135^o \cdot l\sqrt{2}}{2.8\,l} = 0.35$

$\angle CDA = 21^o$ $E_D = \frac{I}{8\,l^2} \cdot \cos 21^o = \frac{I \cdot 0.117}{l^2}$

$AK = \sqrt{9\,l^2 + l^2} = l\sqrt{10}$ $\cos \angle AKB = \frac{3\,l}{l\sqrt{10}} = \frac{3}{\sqrt{10}}$

$E_K = \frac{I}{10\,l^2} \cdot \frac{3}{\sqrt{10}} = \frac{I \cdot 0.095}{l^2}$

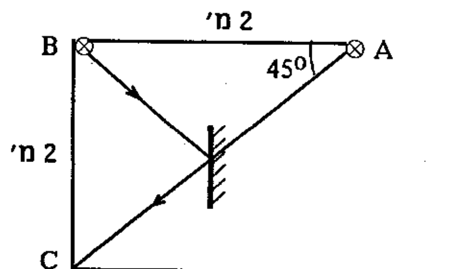
$E_T = \frac{I \cdot 0.35}{l^2} + \frac{I \cdot 0.117}{l^2} + \frac{I \cdot 0.095}{l^2} = \frac{I}{l^2} \cdot 0.562$



.306 $\underline{E = 40.6\ lux}$

הארה כללית מורכבת ממקור עצמו ומדמותו במראה. $AC = \sqrt{8}$

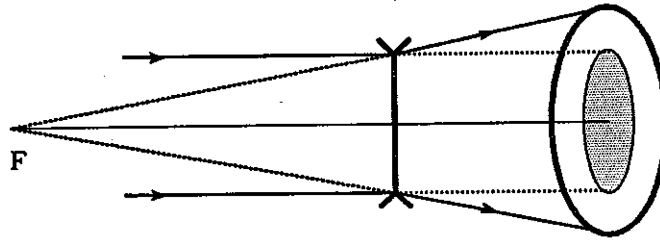
$E_T = \frac{I}{2^2} + \frac{I}{8} \cdot \cos 45^o = 40.6\ lux$



$E_1 = 5102$ lux. $E_2 = 15\ 102$ lux .307

$f = -\frac{1}{2} = -$מ' 0.5 $\qquad \frac{D}{d_ע} = \frac{70}{50} = 1.4 \qquad \frac{S_כ}{S_ע} = \frac{D^2}{d^2} = 1.96$

$E_1 = \frac{10\ 000}{1.96} = 5102$ lux $\qquad E_2 = E_1 + E_0 = 15\ 102$ lux



נסויי מעבדה נבחרים באופטיקה ואלקטרו-אופטיקה

ניסוי 1

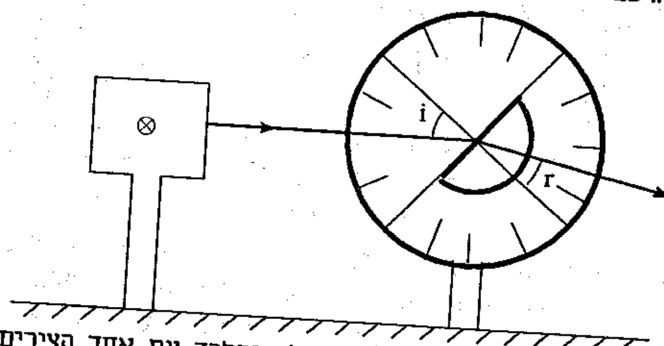
בדיקה של חוק סנל ומדידת מקדם השבירה של החומר

רקע עיוני בעמ' 12. תרגילי הכנה בעמ' 16.

<u>הציוד הדרוש:</u> לוח מעלות, מקור אור עם חריץ, לוחית חצי עגולה.

<u>מהלך הניסוי:</u> חלק א': מציאת מקדם השבירה לפי חוק סנל.

הרכב את המערכת הבאה:



שים לב שהצד הישר של הלוחית החצי עגולה יתלכד עם אחד הצירים, והציר השני יחתוך את הלוחית במרכזה. הסבר, מדוע יש להקפיד על כך.
כוון את מקור האור כך, שהקרן ממנו תפגע בהצטלבות הצירים. מדוד את זויות הפגיעה והשבירה ורשום אותן בטבלה:

	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0
i							
r							
sin i							
sin r							

שרטט גרף $\sin i = f(\sin r)$. חלץ את מקדם השבירה מהגרף.

חלק ב': מציאת מקדם השבירה לפי החזרה גמורה.
כוון את מקור האור כך, שהקרן תפגע בצד העגול של הלוחית. הגדל את זוית הפגיעה עד העלמותה של הקרן הנשברת. מדוד את הזוית הקריטית במצב זה. מצא את מקדם השבירה לפי הזוית הקריטית והשווה אותו עם זה שמצאת לפי הגרף בחלק א'. הסק מסקנות.

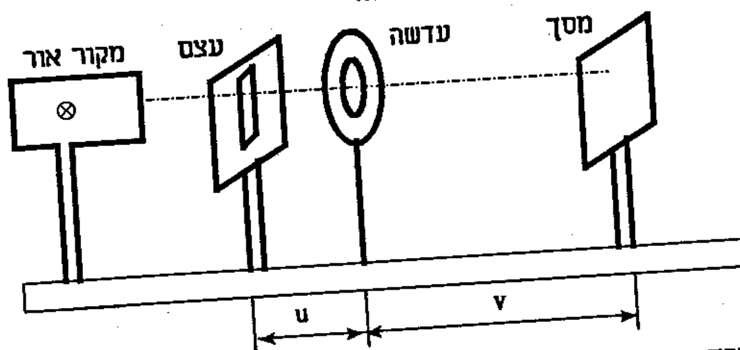
ניסוי 2

בדיקה של נוסחאת העדשה הכדורית

רקע עיוני בעמ׳44 - 48. תרגילי הכנה בעמ׳51 - 53.

<u>הציוד הדרוש:</u> ספסל אופטי, עדשה מרכזת, מקור אור, עצם, מסך.

<u>מהלך הניסוי:</u> הרכב את המערכת הבאה:



קבע מרחק בין העצם והעדשה ועל-ידי הזזת המסך מצא דמות ברורה של העצם. חזור על הפעולה הזו מספר פעמים לגבי מרחק u שונה ורשום את התוצאות בטבלה. כמו כן בכל מצב מדוד את גודל העצם ואת גודל הדמות.

u	v	$\frac{1}{u}$	$\frac{1}{v}$	$H = \left\|\frac{v}{u}\right\|$	$H = \frac{l'}{l}$

שרטט גרף $\frac{1}{v} = f(\frac{1}{u})$. מהי משמעות של נקודות החיתוך של הגרף עם צירים x ו y ?

מצא בעזרת הגרף את מוקד העדשה.

שרטט גרף $v = f(u)$. חשב את שיפוע הגרף והשווה עם H הנמדד. הסק מסקנות.

כדי לבדוק את מוקד העדשה, הנח את העצם במרחק $u = 2f$. מצא את הדמות ובדוק את ההגדלה.

הנח את העצם במרחק $u < f$. איפה הדמות ? שרטט מהלך הקרניים.

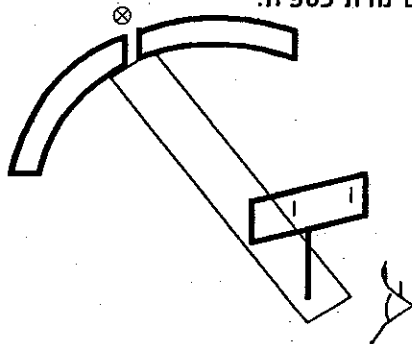
ניסוי 3

ספקטרומטר שריג

רקע עיוני בעמ' 28 ו 65 – 66. תרגילי הכנה בעמ' 67 – 68.

<u>הציוד הדרוש:</u> ספקטרומטר (תוכנית רחובות), שריג עקיפה, נורת כספית ונאון.

<u>מהלך הניסוי:</u> הרכב את הספקטרומטר עם נורת כספית:



רדיוס הקשת של הספקטרומטר שווה 1 רדיאן ≈ 57 ס"מ. היקף המעגל יהיה:
$57 \cdot 2\pi$ ס"מ. כל ההיקף מתאים לזוית 360^0, אורך הקשת של 1^0 יהיה

$\frac{2\pi \cdot 57}{360^0}$=1ס"מ. כלומר כל ס"מ על הסקלה מתאים לזוית 1^0.

צפה דרך השריג על הסקלה ורשום בטבלה מיקום של כל צבע בכל סדר:

צבע	סדר 1	סדר 2	סדר 3	סדר 4

חשב את אורכי הגל של צבעים שונים בסדרים שונים והשווה אותם עם נתונים מטבלת הקבועים: $m \cdot \lambda = d \cdot \sin\alpha$
חזור על הניסוי עם נורת נאון. האם ראית אותם צבעים ? הסק מסקנות.

ניסוי 4

פוטומטריה

רקע עיוני בעמ' 79 - 80. תרגילי הכנה בעמ' 81 - 83.

<u>הציוד הדרוש:</u> לוקסמטר, נורת להט, סרגל.

<u>מהלך הניסוי:</u> חלק א'. מדידת שינוי הארה במרחקים שונים.

יש לשמור על חושך בחדר, מפני שאור רקע מוסיף שגיאות למדידה.



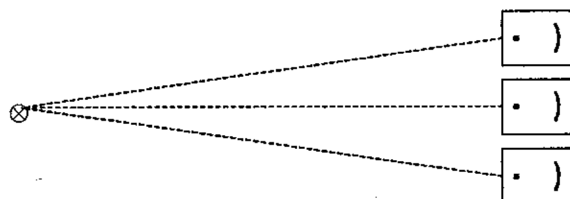
מדוד את ההארה במרחקים שונים מול הנורה ורשום את התוצאות בטבלה:

x	2 ס"מ	5 ס"מ	8 ס"מ	12 ס"מ	15 ס"מ
E					
x^2					

שרטט גרף $E = f(x^2)$. מהו יחס בין הארה והתרחקות ממקור האור ?

חלק ב'. מדידת הארה בהתרחקות מהציר.

קבע מרחק ממקור האור 5 ס"מ ומדוד שינוי הארה בהתרחקות מהציר.



x	0	1 ס"מ	2 ס"מ	3 ס"מ
E				

שרטט גרף $E = f(x)$. הסק מסקנות מהגרף.

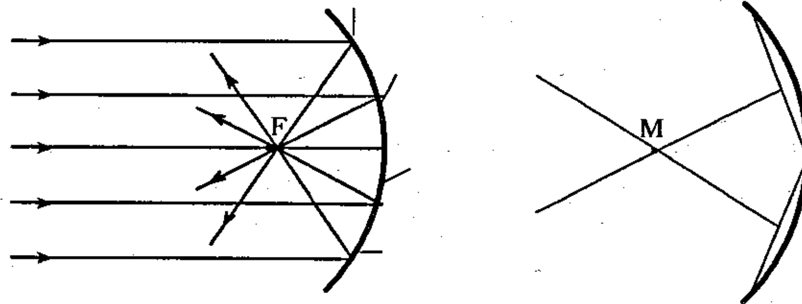
ניסוי 5

מראות

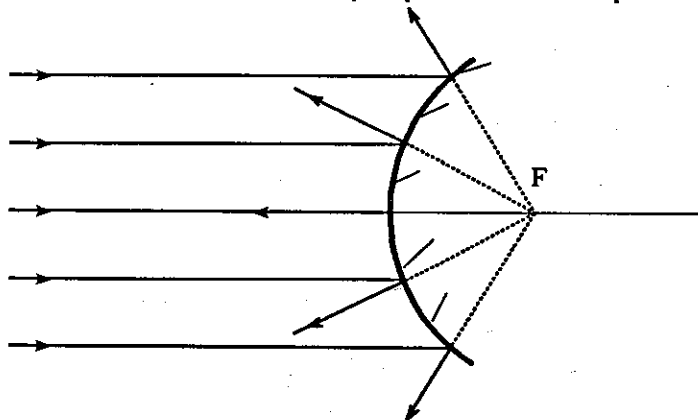
רקע עיוני בעמ׳ 33 – 37, תרגילי הכנה בעמ׳ 39 – 40.

<u>הציוד הדרוש:</u> לוח מעלות, מראה קעורה, מראה קמורה, סרגל, מקור אור עם הרבה חריצים.

<u>מהלך הניסוי:</u> מראה קעורה.
הנח נייר לבן על לוח מעלות ועליו הנח מראה קעורה. העתק את צורת המראה על הנייר. כוון את הקרניים, העוברות דרך החריצים, אל המראה. מצא את נקודת המוקד של המראה והעתק אותה על הנייר. בעזרת הנדסה בנה מרכז העקמומיות של המראה. מדוד רדיוס המראה והשווה אותו עם המוקד. מהו היחס ביניהם ?



מראה קמורה.
הנח נייר על לוח מעלות ועליו מראה קמורה. כוון את אלומת הקרניים אל המראה. העתק צורת המראה ואת הקרניים, המוחזרות ממנה. המשך את הקרניים המוחזרות עד פגישתן ומדוד מוקד המראה. בעזרת הנדסה מצא רדיוס המראה בשיטה זהה לזו עם מראה קעורה. מהו היחס בין רדיוס המראה ובין מוקדה ?
הסק מסקנות.



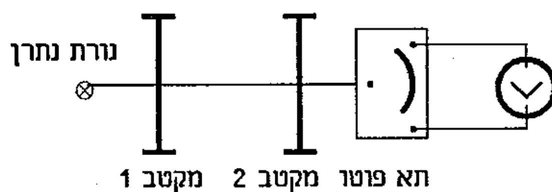
ניסוי 6

<u>קיטוב</u>

רקע עיוני בעמ' 24 - 26, תרגילי הכנה בעמ' 27.

<u>הציוד הדרוש:</u> שני מקטבים, נורת נתרן או לבנה, תא פוטו, מולטיטסטר.

<u>מהלך הניסוי:</u> הרכב מערכת הבאה:



כוון את שני המקטבים למצב מאונך, כלומר ביציאתם יהיה חושך. מדוד את המתח ביציאה מתא פוטו. סובב אחד המקטבים כך שתיווצר זוית 30^{o} ביניהם ומדוד שוב את המתח. המשך למדוד את המתח לגבי זויות שונות בין המקטבים ורשום את התוצאות בטבלה.

α	30^0	60^0	90^0	120^0	150^0	180^0	210^0	240^0
v								
$\cos\alpha$								

שרטט גרף $v = f(\cos\alpha)$. הסק מסקנות.

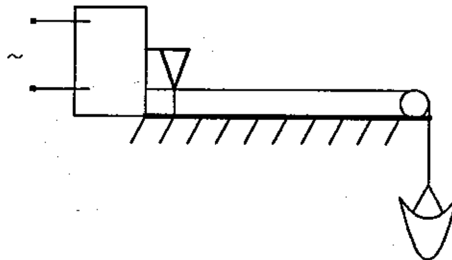
ניסוי 7

<u>גלים עומדים במיתר</u>

רקע עיוני בעמ' 6, תרגילי הכנה בעמ' 7 - 9.

<u>הציוד הדרוש:</u> מתקן לגלים עומדים, ספק כוח למתח חילופין, משקולות.

<u>מהלך הנסוי:</u> הרכב את המערכת ושים משקולת של 50 ג' בתוך הסל.



חבר ספק כוח למתקן, הזז את הגלגל עד שתקבל תמונה של חצי גל במיתר המתנודד. המשך להזיז את הגלגל עד שתקבל תמונה של גל שלם. האם מרחק זה כפול לאורך של חצי גל ?

החלף משקולת ל 40 ג' ונסה למצוא מצבים של חצי גל וגל שלם. אם אורך המכשיר מאפשר, נסה למצוא מצבים של גל וחצי ושני גלים. רשום את התוצאות בטבלה.

T (N)	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
0.5 λ (m)					
λ (m)					
1.5 λ (m)					
2 λ (m)					
λ^2					

שרטט גרף $\lambda^2 = f(T)$. האם צורת הגרף מתאימה לנוסחה $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$?

ניסוי 8

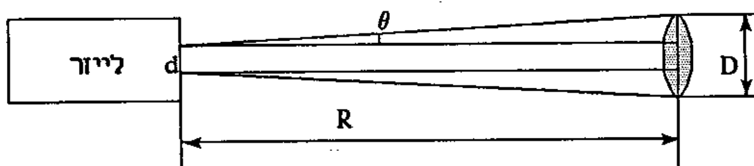
תכונות קרן הלייזר

רקע עיוני בעמ' 84 - 88.

<u>הציוד הדרוש:</u> לייזר, סרגל ארוך, שריג עקיפה, שתי עדשות מפזרות, הולוגרמה.

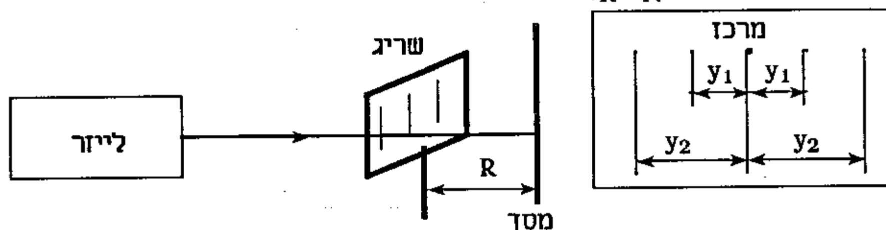
<u>מהלך הנסוי:</u> חלק א'. מדידת זוית הפיזור של הלייזר.

מדוד את קוטר האלומה היוצאת מהלייזר. כוון קרן לייזר לקיר רחוק ביותר בחדר ומדוד את קוטר הכתם על הקיר. חשב זוית הפיזור של הלייזר: $tag\theta = \frac{D - d}{2R}$



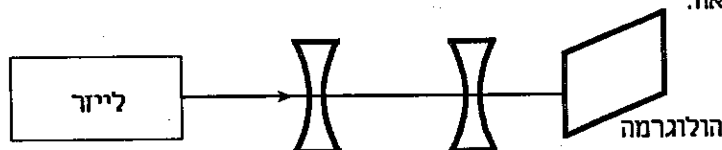
חלק ב'. מדידת אורך הגל של הלייזר.

הצמד שריג עקיפה ללייזר וקבל תמונת התאבכות על נייר לבן הנמצא במרחק R מהשריג. מדוד את המרחק בין שתי נקודות אור על תמונת התאבכות y. חשב אורך הגל של הלייזר לפי: $\lambda = \frac{y}{R \cdot N}$ כאשר N - קבוע השריג.



חלק ג'. צפייה בהולוגרמה.

הרכב מערכת הבאה:



הסתכל בהולוגרמה בזויות שונות. הסתר חצי תמונה, האם אתה רואה חצי תמונה ? הפסק את הקרן עם היד, האם התמונה נשארת ?

נספחים

קבועים פיסיקליים

מהירות האור בריק __________ 10^{8} · 3.0 מ/שנ' = c
מטען האלקטרון __________ 10^{-19} · 1.6 קולון = e
מסת האלקטרון __________ 10^{-31} · 9.11 ק"ג = m_e
מסת הפרוטון __________ 10^{-27} · 1.67 ק"ג = m_p
קבוע פלנק __________ 10^{-34} · 6.63 דז' · שנ' = h

מקדמי השבירה של חומרים שונים

החומר	מקדם שבירה n
אויר	1
מים	1.33
זכוכית קרון	1.52
זכוכית פלינט	1.82
טרפנטין	1.48
יהלום	2.4

ספקטרום

צבע	λ (nm)
סגול	≈420
כחול	≈480
ירוק	≈510
צהוב	≈590
כתום	≈650
אדום	≈700

יחידות אחדות

אורך: $1\ \text{Å} = 10^{-10}$ m אָנְגְסְטְרֶם
$1\ \text{nm} = 10^{-9}$ m ננומטר
$1\ \mu\text{m} = 10^{-6}$ m מיקרומטר
$1 = 9.5 \cdot 10^{15}$ m שנת אור 1

תדירות: $1\ \text{Hz} = 1\ \frac{1}{\text{sec}}$ הרץ 1

עוצמת העדשה : $1\ \text{D} = 1\ \frac{1}{\text{m}}$ דיאופטריה 1

אנרגיה : $1\ \text{ev} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ j
(אלקטרון-וולט)
$1\ \text{Mev} = 10^{6}$ ev

עוצמת האור: 1 cd נר 1
שטף האור: 1 lm לומן 1
הארה: 1 lux לוקס 1
בהירות: 1 nit ניט 1
זוית מרחבית: 1 ster סטרדיאן 1

נוסחאות

תופעות האור

חוק סנל: $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$

מקדם השבירה: $n = \frac{c}{v}$

זוית קריטית: $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$

חוק למברט-בוגר: $I = I_0 \cdot e^{-\alpha d}$

אורך גל: $\lambda = \frac{v}{f}$

מנת האנרגיה: $E = hf$

זוית ברוסטר: $\tan\theta = n$

חוק מלוס: $I = I_0 \cdot \cos^2\alpha$

טבעות ניוטון: $r_m^2 = mR\lambda$

לחץ האור: $p = \frac{Nhf}{c} \cdot (1 + \rho)$

רכיבים אופטיים

רדיוס המראה: $R = 2f$

קשר בין עצם ודמות: $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$

נוסחת העדשה: $\frac{1}{f} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \cdot (\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2})$

הגדלה: $H = \left|\frac{v}{u}\right| = \frac{l'}{l}$

עוצמת העדשה: $F = \frac{1}{f}$

נוסחת ניוטון: $S \cdot S' = f^2$

מערכת עדשות: $F_T = \Sigma F_i$

מצב של סטיה מינימלית: $n = \frac{\sin\frac{A + \delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

שריג אופטי: $y_m = \frac{mR\lambda}{d}$

מכשירים אופטיים

הגדלת זכוכית מגדלת: $M_{min} = \frac{25}{f}$

$M_{max} = \frac{25}{f} + 1$

הגדלת המיקרוסקופ: $M_{min} = \frac{x'}{f_0} \cdot \frac{25}{f_e}$

$M_{max} = \frac{x'}{f_0} \cdot (\frac{25}{f_e} + 1)$

הגדלת הטלסקופ: $M = \frac{f_0}{f_e} = \frac{D_0}{D'}$

גלים

משוואת הגל: $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \frac{2\pi x}{\lambda})$

משוואת הגל העומד

$y = A \cdot \sin 2\pi ft \cdot \cos\frac{2\pi x}{\lambda}$

תנאי לגלים עומדים: $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$

פוטומטריה

שטף האור: $\phi = \frac{W}{t}$

זוית מרחבית: $\omega = \frac{S}{R^2}$

עוצמת האור: $I = \frac{\phi}{\omega}$

בהירות: $B = \frac{I}{S \cdot \cos\varphi}$

הארה: $E = \frac{\phi}{S} = \frac{I}{R^2} \cdot \cos\alpha$